



نظام ينتج عن الشواش

حوار جديد بين الإنسان والطبيعة

تأليف: إليا بريغوجين
إيزابيلا استنجر
ترجمة: طاهر بديع شاهين
ديمة طاهر شاهين





طاهر شاهين

- ولد في مدينة حمص عام ١٩٣٦.
- أتم السنوات التحضيرية للدخول إلى المدارس العليا في فرنسا، وبدأ دراسة الرياضيات في إحدى المدارس العليا الفرنسية.
- تابع دراسة الرياضيات في الجامعة الأمريكية في بيروت، وحصل منها على شهادة البكلوريوس B.A في الرياضيات.
- عمل مدرساً لمادة الرياضيات والفيزياء.
- عمل في حقل الترجمة من اللغتين الإنكليزية والفرنسية إلى اللغة العربية، ونشر المقالات العلمية والفلسفية.
- من مترجماته «المصادفة والشواش» تأليف دافيد رويل.

ديمة شاهين

- من مواليد مدينة حمص ١٩٧٦.
- درست في المعهد العالي للفنون التطبيقية والتكنولوجيا في دمشق، وحصلت على شهادة الهندسة في اختصاص الاتصالات عام ١٩٩٨.
- عملت في التدريس في المعهد العالي للفنون التطبيقية والتكنولوجيا، وحالياً تعمل في التدريس في جامعة البعث.

نظام ينتج عن الشواش

حوار جديد بين الإنسان والطبيعة



نظام ينتج عن الشواش

حوار جديد بين الإنسان والطبيعة

تأليف : إليــا بريغوجيــن
إيزابيــلا استـنجر
ترجمة: طاهر بديع شاهين
ديمة طاهر شـاهين

منشورات الهيئة العامة السورية للكتاب
وزارة الثقافة — دمشق ٢٠٠٨

العنوان الأصلي للكتاب :

ORDER OUT OF CHAOS

MAN'S NEW DIALOGUE WITH NATURE

Ilya Prigogine
And
Isabelle Stengers

Foreword by Alvin Toffler

نظام ينتج عن الشواش : حوار جديد بين الإنسان والطبيعة = Order out of chaos/ تأليف إليا بريغوجين، إيزابيلا استنجر؛ ترجمة طاهر بديع شاهين، ديمة طاهر شاهين .- دمشق: الهيئة العامة السورية للكتاب، ٢٠٠٨ .- ٤٠٨ ص؛ ٢٤ سم.

(قضايا فلسفية ؛ ٣).

١- ٠٠٣ ب ر ي ن ٢- ١١٧ ب ر ي ن ٣- العنوان
٤- بريغوجين ٥- استنجر ٦- شاهين ٧- شاهين
٨- السلسلة

مكتبة الأسد

قضايا فلسفية

«٣»

تقديم

العلم والتغيير بقلم الفين توفلر

التشريح هو أحد أكثر المهارات تطوراً في الحضارة الغربية المعاصرة: تقطيع المسائل إلى أصغر مكوناتها الممكنة. ونحن بارعون في ذلك، بل من البراعة حتى أننا غالباً ما ننسى إعادة تجميع القطع مع بعضها ثانيةً.

وربما كانت هذه المهارة أكثر ما تكون تمركزاً في العلم. فهناك لا نكتفي روتينياً بتقطيع المسائل إلى أجزاء أصغر فأصغر بل إننا غالباً ما نعزل كل واحدة عن محيطها بواسطة حيلة مفيدة، ونقول (ceteris paribus)– وتبقى كل الأشياء الأخرى كما هي. يمكننا بهذه الطريقة تجاهل التفاعل المعقد بين مسألتنا وباقي الكون.

لا يقنع إليا بريغوجين الذي حاز على جائزة نوبل سنة ١٩٧٧ لأعماله في ترموديناميك المنظومات اللامتوازنة ، بتفكيك الأشياء فقط. بل قضى الجزء الأفضل من حياته محاولاً «أن يعيد ترتيب القطع معاً مرة أخرى»– والقطع في هذه الحالة هي البيولوجيا والفيزياء، الضرورة والصدفة، العلم والإنسانية.

ولد بريغوجين في روسيا سنة ١٩١٧ وتربى في بلجيكة منذ عامه العاشر، و هو رجل مربوع ذو شعر قد خطه الشيب، وملامح واضحة، وذو حدة ليزرية. عميق الاهتمام في علم الآثار والفن والتاريخ وبهذا فهو يجلب للعلم

عقلاً متعدد الاهتمامات بشكل مدهش. وهو يعيش مع زوجته المهندسة مارينا وابنه باسكال في بروكسل حيث يقوم فريق متقاطع الاختصاصات بتتبع نتائج أفكاره في حقول مختلفة من السلوك الاجتماعي لمستعمرات النمل إلى انتشار التفاعلات في المنظومات الكيميائية والسيرورات المبددة في نظرية حقل الكم.

وهو يقضي جزءاً من كل سنة في مركز إليا بريغوجين للميكانيك الإحصائي والترموديناميك في جامعة تكساس في اوستن. وكان مفاجأة سارة له حصوله على جائزة نوبل لعمله على "البنى المبددة" disspative structures التي تنشأ عن السيرورات اللاخطية في المنظومات اللامتوازنة. وتشارك في هذا المؤَلف ايزابيل ستنجرز وهي فيلسوفة وكيميائية ومؤرخة علوم وقد عملت لفترة ما كعضوة في مجموعة بريغوجين في بروكسل، وتعيش الآن في باريس وهي منخرطة في متحف لا فيلت (La Villette).

في كتابهما ***نظام ينتج عن شواش*** ***Order Out Of Chaos*** قدما لنا مَعلَماً – وهو عملٌ محفزٌ للنقاش ومنشطٌ للفكر، كتابٌ مليء بالرؤى البعيدة النظر التي تهدم الكثيرَ من فرضياتنا الأساسية، وتقترح طرقاً جديدة للتفكير فيها.

لقد أطلق ظهور هذا المؤلف في فرنسا سنة ١٩٧٩ تحت عنوان ***"الحلف الجديد"*** ***La Nouvelle Alliance*** حركة علمية حرة مدهشة بين المثقفين المهمين في حقول مغايرة من مثل علوم الحشرات والنقد الأدبي.

وإن تأخر نشره في أمريكا بعدما ترجم ونشر أو كان في طريقه للنشر بأكثر من اثنتي عشرة لغة لهو مقياس للانعزال والتكبر الثقافي لأمريكا، فلقد أخذ وقتاً طويلاً لكي يعبر الأطلسي. ومع ذلك فإن تأخره يحمل معه ميزة من حيث أن هذه الطبعة تحوي اكتشافات بريغوجين الأكثر حداثةً، وخاصةً ما يتعلق بالقانون الثاني للترموديناميك الذي يضعه بريغوجين في منظور جديد.

لكل هذه الأسباب فإن ***نظاماً ينتج عن شواش*** هو أكثر من كتاب: إنه رافعة لتغيير العلم ذاته لأنه يجبرنا على إعادة فحص أهدافه وطرقه وجهازه المعرفي – منظوره العالمي. وفي الحقيقة يمكن لهذا الكتاب أن يكون رمزاً للتحول التاريخي للعلم اليوم – تحولٌ لا يجوز لإنسان مطَّلعٍ أن يتجاهله.

يتصور بعض العلماء على أن العلم يتطور مدفوعا بمنطقه الداخلي حسب قوانينه الخاصة في انعزال تام عن العالم المحيط به. ومع ذلك فإن الكثير من الفرضيات العلمية والنظريات والاستعارات والنماذج (دون أن نذكر خيارات بعض العلماء في دراسة أو إهمال دراسة بعض المسائل) كل هذه تأخذ أشكالاً متأثرة بالقوى الاقتصادية والثقافية والسياسية العاملة خارج المختبر.

لا أقصد هنا اقتراح توازٍ تام بين طبيعة المجتمع والمنظور العالمي العلمي السائد أو «النموذج» paradigm. ولا أقل من ذلك بأن أحيل العلم إلى «تركيب فوقي» تراكب فوق «قاعدة» اجتماعية واقتصادية كما يريد الماركسيون أن يفعلوه. ولكن العلم ليس "بالمتحول المستقل". إنه منظومة حرةٌ متوِّضعة في مجتمع ومترابطة معه بحلقات تغذية راجعة كثيفة. إنه شديد التأثر بمحيطه الخارجي. وبصورة عامة فإن تطوره يتشكل عن طريق التقبل الثقافي لأفكار مجتمعه السائدة.

لنأخذ مجموعةً من الأفكار التي ظهرت معاً في القرن السابع عشر والثامن عشر تحت عنوان «العلم الكلاسيكي» أو «النيوتونية». فلقد مثلت عالَماً حيث يتعين كل حدث بشروط ابتدائية قابلة على الأقل من حيث المبدأ للتعيين بشكل دقيق. لقد كان عالماً لا تلعب فيه المصادفة أي دور، وحيث تتراكب فيه كل القطع معاً كتروس في آلة كونية.

لقد توافق قبول هذا المنظور الآلي مع صعود حضارة المصنع. إن رمي زهر إلهي يبدو غير كافٍ إلا بصعوبة لأن يفسر حقيقة أن عصر الآلة قد احتضن بحماس النظريات العلمية التي تصورت الكون كله على أنه آلة.

إن منظوراً كهذا هو الذي قاد لابلاس لأن يطلق مقولته الشهيرة أنه إذا ما أُعطينا معلوماتٍ كافية فإنه لا يمكننا فقط توقع المستقبل ولكن وصف الماضي أيضاً. وهذه الصورة لكون بسيط، متماثل، آلي لم تُكوِّن فقط شكل تطور العلم بل إنها فاضت فشملت حقولاً أخرى كثيرة. إنها أثّرت في مؤلفي الدستور الأمريكي لكي يكونِّوا آلةً للحكم، مع ضوابطها وموازينها التي تعمل كأجزاء الساعة. وعندما سعى ميترنيخ(*) لخلق توازن للقوى في أوروبا فإنه كان يحمل نسخةً من مؤلفات لابلاس في جعبته. إن الانتشار الدرامي لحضارة المعمل بآلاتها الصاخبة واكتشافاتها الهندسية البطولية، وإقامة السكك الحديدية والصناعات الجديدة مثل صناعة الصلب والنسيج والسيارات بدت فقط تؤكد صورة «كون» هو لعبة مهندس.

واليوم مع ذلك فإن عصر الآلة يَصِّرُ وهو يتباطأ ليتوقف، إذا كانت القرون تَصِّرُ - وإن قرننا يبدو بالتأكيد كذلك. إن انحدار عصر الصناعة يجبرنا على أن نواجه القصورات المؤلمة لنموذج الواقع كآلة.

بالطبع فإن معظم هذه القصورات ليست مما اُكتشف حديثاً. إن فكرة أن العالم يعمل كساعة والكواكب تجري للأبد وتعمل كل المنظومات بتوازن محكوم به والكل خاضع لقوانين عامة يمكن لكل مراقب خارجي أن يكتشفها - قوبل هذا النموذج بنقدٍ لاذع منذ نشوئه الأولي.

في بدايات القرن التاسع عشر جابه الترموديناميك بالنقد اللازمنية المتضمنة في الصورة الآلية للكون. وأعلن علماءُ الترموديناميك أنه إذا كان العالم آلة كبيرة فإنه يتخامد وتتسرب طاقته المفيدة. وهو لا يمكن أن يستمر

(*) Metternich: سياسي أمير ورجل دولة نمساوي (١٧٧٣-١٨٥٩) أصبح مستشار الإمراطور فرانسوا الأول وعرف بسياسته المحافظة والمعادية للثورات .

للأبد ولهذا أخذ الزمن معنى جديدا. ولقد قدَّم أتباع دارون بسرعة فكرة مناقضة. يمكن أن يكون العالم - الآلة تتباطأ، وتفقد القدرة والتنظيم ولكن المنظومات البيولوجية على الأقل تتسارع وتصبح أكثر وليس أقل تنظيماً.

وفي بداية القرن العشرين أتى آينشتاين ليعيد المراقبَ من جديد إلى المنظومة، وبدت الآلة مختلفة - وفي الحقيقة *كانت* مختلفة بالنسبة لكل المتطلبات العملية - وهذا يتعلق بالمكان الذي أنت موجود فيه داخلها - ولكنها لا زالت مع ذلك آلة محتومة والله لا يرمي بالنرد. ثم أتى أهل الكم وجماعة الإرتياب وهاجموا هذا النموذج بالفؤوس والمطارق وأصابع الديناميت.

ومع ذلك وبالرغم من كل «إذا» و «و» و «لكن»، فإنه من العدالة أن نقول مع بريغوجين وستنجرز أن نموذج الآلة لا يزال هو «نقطة العّلام» للفيزياء والنموذج اللّب للعلم على العموم. وفي الحقيقة لا يزال تأثيره قوياً إلى درجة أن معظم علم الاجتماع وعلى الأخص الاقتصاد لا يزالان تحت تأثير سحره.

ليست أهمية هذا الكتاب ببساطة أنه يستعمل نقاشاً أصيلاً في تحدي النموذج النيوتوني فقط بل أيضاً لأنه يظهِرُ كيف أن دعاوى النيوتونية مع أنها لا تزال صالحة ولكنها محدودة بشدة ويمكن أن تندرج بتناغم مع صورة علمية أشمل للواقع. إنه يناقش أن «القوانين العامة» القديمة ليست عامة على الإطلاق، ولكنها تنطبق فقط في مجالات محلية من الواقع والذي حدث أن هذه هي المجالات التي بذل العلم فيها جل جهوده.

وهكذا بتعابير عامة فإن بريغوجين وستنجرز يناقشان أن العلم التقليدي في عصر الآلة كان يميل إلى أن يؤكد على الاستقرار والنظام والتناغم والتوازن فقط لأنه أعطى جل اهتمامه للمنظومات المغلقة وللعلاقات الخطية حيث المدخلات الصغيرة تعطي باستمرار نتائج صغيرة.

بالانتقال من مجتمع صناعي مؤسسٍ على مدخلات كبيرة من الطاقة والرأسمال والعمل إلى مجتمع التقنية الفائقة حيث المعلومات والتجديد هما المصادر الحرجة، ليس من المستغرب أن تظهر نماذج جديدة عالمية للعلم.

إن ما يجعل نموذج بريغوجين مثيراً بصورة خاصة هو أنه يحوّل الانتباه إلى مظاهر الواقع التي تُوصِّف التغيرات الاجتماعية المتسارعة المعاصرة: فوضى، لا استقرار، تنوع، لا توازن، علاقات لا خطية (حيث يمكن لمدخلات صغيرة أن تطلق نتائج ضخمة)، وزمنية - حساسية متعاظمة لجريان الزمن.

يمكن لعمل بريغوجين ومعاونيه فيما يدعى «مدرسة بروكسل» أن يمثل الثورة التالية في العلم عندما يُدخِلُ العلمَ في جدل جديد ليس فقط مع الطبيعة ولكن مع المجتمع ذاته.

وتضيف أفكار مدرسة بروكسل المبنية بشكل كثيف على أعمال بريغوجين إلى نظرية جديدة شاملة في التغيير.

بشكل مختصر ومبسط فإنهم يعتقدون أنه بينما تعمل بعض أجزاء الكون كآلات وهذه هي المنظومات المغلقة التي هي على الأحسن لا تشكل إلا جزءاً صغيراً من الكون الفيزيائي. فإن معظم الظواهر المهمة لنا هي في الواقع منظومات «مفتوحة» تتبادل الطاقة والمادة (ويمكن أن نضيف المعلومات) مع محيطها. وبالتأكيد المنظومات البيولوجية والاجتماعية هي منظومات مفتوحة مما يعني أن محاولة فهمها بتعابير آلية محكومة بالفشل.

وهذا يعني أيضا أن معظم الواقع بدلا من أن يكون منظما وثابتا ومتوازنا يغلي ويغرغر بالتغير والفوضى والسيرورة.

بتعابير بريغوجين كل المنظومات تحوي منظومات فرعية التي «تتأرجح» باستمرار. وأحياناً فإن تأرجحاً وحيداً أو مركباً من هذه التأرجحات

يمكن أن يصبح قويا بسبب تأثير «التغذية الراجعة الإيجابية» لدرجة أن يحطم التنظيم الموجود. وعند هذه اللحظة التطورية - والمؤلفان يدعوانها «اللحظة المفردة أو الشاذة» أو «نقطة تفرع»- فإنه من المستحيل أن نحدد مسبقا الاتجاه الذي سيأخذه التغيير : فيما إذا كانت المنظومة ستتحل إلى «شواش» أو أن تقفز إلى مستوى أكثر تمايزا وأعلى من "النظام "أو التنظيم والذي يدعوانه «البنية المبددة» (تدعى بنى فيزيائية أو كيميائية من هذا النوع مبَّددة لأنها بالمقارنة مع بنى أبسط تحل محلها، تحتاج إلى طاقة إضافية لكي تستمر).

إحدى هذه النقاشات المفتاحية التي تحيط بهذا التصور له علاقة بتأكيد بريغوجين أن النظام والتنظيم يمكن واقعيا أن ينتجا "تلقائياً" عن الفوضى والشواش بواسطة سيرورة "التنظيم الذاتي".

لكي ندرك هذه الفكرة القوية جدا، نحتاج إلى أن نُميِّز بين المنظومات التي هي في حالة«توازن» والمنظومات التي هي «قريبة من التوازن» وتلك التي هي «بعيدة عن التوازن».

لنتخيل قبيلة بدائية. إذا كان معدل الولادة والوفيات فيها متساو، فإن حجم القبيلة يبقى ثابتاً. لنفترض وجود غذاء كاف ومصادر أخرى فإن القبيلة تشكل جزءاً من منظومة محلية في توازن بيئي.

إذا زدنا في معدل الولادات: قليلاً من الولادات الإضافية(دون وفيات مقابلة) فإن هذا لن يكون له إلا تأثير بسيط. ويمكن أن تتحرك المنظومة إلى حالة قريبة من التوازن. لا يحدث شيء كبير. يلزم خضة كبيرة لإنتاج نتائج كبيرة في منظومات في حالة توازن أو قريبة من التوازن.

ولكن إذا ارتفع معدل الولادات فجأةً بنسبة كبيرة فإن المنظومة تدفَعُ نحو حالة بعيدة عن التوازن، وهناك تسود علاقات لا خطية. وفي هذه الحالة

تتصرف المنظومات بشكل غريب. إنها تصبح حساسة بشكل مفرط للتأثيرات الخارجية. فمدخلات صغيرة تعطي نتائج ضخمة ومفاجئة. والمنظومة بكاملها يمكن أن تعيد تنظيم ذاتها بطرق قد تبدو لنا غريبة.

كثيرة هي الأمثلة على إعادة تنظيم كهذا في كتاب ***نظام ينتج عن شواش***. الحرارة التي تتغلغل مثلاً في سائل ما يمكن فجأة عند عتبة ما أن تحدث تيار حمل يعيد تنظيم السائل بشكل جذري وملايين الذرات وكأنها أعطيت الإشارة فجأة تشكل نفسها بشكل خلايا سداسية.

هناك ما هو أكثر إبهاراً «الساعات الكيميائية» التي وصفها بريغوجين واستنجرز. لنتخيل مليوناً من كرات لعبة كرة الطاولة (البنغ بونغ) البيضاء المختلطة عشوائيا مع مليونٍ من الكرات السوداء المتراقصة شواشياً في خزان له نافذة زجاجية. ففي معظم الوقت ستكون الكتلة المرئية من خلال النافذة رمادية ولكن من لحظة لأخرى تحدث لحظات شاذة حيث نرى العينة من خلال النافذة إما بيضاء أو سوداء حسب توزع الكرات في تلك اللحظة قرب النافذة.

والآن لنتخيل أن المنظر من خلال النافذة يصبح أبيض بالكامل ثم أسود ثم أبيض ثم أسود وهكذا مغيراً لونه في فترات محددة - مثل ساعة تدق.

لماذا تنظم كل الكرات البيضاء والسوداء ذاتها فجأة بحيث يتغير اللون زمنياً؟

حسب القواعد التراثية فإن هذا يجب أن لا يحدث بأي شكل. مع ذلك إذا تركنا الكرات خلفنا ونظرنا إلى الذرات في بعض التفاعلات الكيميائية فإننا نجد أنه بالضبط ما يمكن أن يحدث هو إعادة تنظيم أو نظام كهذا وهو يحدث بالرغم مما تقوله لنا الفيزياء الكلاسيكية ونظريات بولتزمن الاحتمالية.

تحدث في الحالات البعيدة عن التوازن حالات أخرى من إعادة تنظيم للمادة تبدو تلقائية وغالباً دراماتيكية ضمن الزمان والمكان. وإذا بدأنا بالتفكير من خلال بعدين أو ثلاثة فإن عدد وتنوع هذه البنى الممكنة يصبح كبيراً جداً.

و الآن أضف إلى ذلك كشفاً إضافياً. لنتخيل وضعا حيث تفاعل كيميائي أو آخر ينتج أنزيماً يشجع وجوده على زيادة الإنتاج لذات الأنزيم، وهذا مثال لما يدعوه علماء الحاسوب حلقة تغذية راجعة إيجابية. وفي الكيمياء يدعى «تحفيزاً ذاتياً». هذه الحالات نادرة في الكيمياء اللاعضوية. ولكن في العقود القريبة وجد علماء البيولوجية الجزيئية أن حلقات من هذا النوع (مع مثبطة أو ذات تغذية راجعة سلبية ومع سيرورات أكثر تعقيدا ذات «محفزات متقاطعة») هي مادة الحياة ذاتها. وتساعد هذه السيرورات في شرح كيف ننتقل من شدف صغيرة من (DNA) إلى المتعضية الحية المعقدة.

ولذلك عموماً فإنه في الحالات البعيدة عن التوازن نجد أن «تهيجات» أو «تأرجحات» يمكن أن تتضخم إلى موجات ضخمة كاسرة للبنية. وهذا يلقي الضوء على كل أنواع التغيرات «النوعية» أو «الثورية» للسيرورات. وعندما نراكب الرؤى الناتجة عن دراسة الحالات البعيدة عن التوازن مع السيرورات اللاخطية مع تلك النظم المعقدة للتغذية الراجعة ينفتح أمامنا مقترب جديد يجعل من الممكن ربط ما يدعى العلوم الصلبة مع علوم الحياة الأطرى – وربما كذلك حتى مع ما يحدث في السيرورات الاجتماعية.

(لهذه الكشوف مغزى على الأقل موازٍ للحقائق الاجتماعية والاقتصادية والسياسية. وكلمات من مثل «ثورة» و«انهيار اقتصادي» و«نهوض تقني» و«انزياح نموذج» كلها تأخذ أطيافا من المعاني عندما نفكر فيها بعبارات التأرجحات وتضخيم التغذية الراجعة وبنى مبددة وتفرعات وباقي مفردات التصور البريغوجيني). إنها هذه الرؤى الواسعة المنظر التي يفتحها لنا كتاب ***نظام ينتج عن شواش***.

خلف كل هذا هناك مسألة الزمن،المسألة الأكثر تحييرا وشمولية.

جزءٌ من ثورة اليوم الشاملة في العلم والثقافة هو إعادة اعتبار الزمن، وهو من الأهمية بحيث يجب أن نرجع باختصار قليلا إلى الوراء قبل أن ننتقل إلى دور بريغوجين في هذه المسألة.

لنأخذ التاريخ كمثال. فإن أحد أكبر المساهمات في التأريخ كان تقسيم بروديل (Braudel) للزمن إلى مقاييس ثلاثة - «الزمن الجغرافي» حيث تجري الحوادث خلال دهور، والمقياس الأقصر بكثير «الزمن الاجتماعي» الذي يقيس الاقتصاديات والدول والحضارات، والمقياس الأقصر من ذلك «الزمن الفردي» - تاريخ الحوادث البشرية.

يبقى الزمن في علم الاجتماع تلك الأرض التي ليس لها مخطط عموماً، ولقد علَّمنا علم الأنثروبولوجية أن الحضارات تختلف بشكل كبير في طرقها في تصور الزمن. فالبعض يتصوره دوري- التاريخ يعيد دوما نفسه. والزمن بالنسبة لثقافات أخرى ونحن منهم هو طريق فسيح ممتد ما بين الماضي والمستقبل ويسير عليه الناس ومجتمعات كاملة. وفي ثقافات أخرى يُنظَر إلى الحياة الإنسانية على أنها مستقرة في الزمن والزمن يتقدم منا بدلا من أن نتقدم نحن إليه.

وكما كتبتُ في مكان آخر يُظهِر كل مجتمع خاصية "تحيزه الزمني" - الدرجة التي يؤكد فيها على الماضي أو الحاضر أو المستقبل. يعيش البعض في الماضي والبعض الآخر يمكن أن يكون مهووسا بالمستقبل.

بالإضافة إلى ذلك تميل كل ثقافة وكل فرد إلى أن يفكر بحدود «آفاق الزمن» البعض يفكر فقط بالآني - الآن. فمثلاً يُنتقَدُ السـياسيون لأنهم يبحثون فقط عن النتائج الآنية والقصيرة المدى. فأفقهم الزمني كما يقال متأثر بموعد الانتخابات

التالية. آخرون من بيننا يخططون لآجال طويلة. هذه الآفاق الزمنية المختلفة هي مصدر احتكاك اجتماعي وسياسي يُغفَلُ عنه - ربما كان من بين الأكثر أهمية.

ولكن بالرغم من الاعتراف المتنامي باختلاف التصورات الثقافية للزمن فإن العلوم الاجتماعية لم تتطور إلا قليلاً في تشكيل نظرية متجانسة له. ويمكن لنظرية كهذه أن تكون ممتدة عبر عدة اختصاصات من السياسة إلى ديناميك المجموعات وإلى علم نفس ما بين الأفراد. يمكن مثلاً أن نأخذ بالحسبان ما دعوته في كتابي ***صدمة المستقبل Future Shock*** «مدة التوقعات» durational expectancies - فرضياتنا الناتجة ثقافياً عن المدة التي من المفترض أن تأخذها بعض السيرورات.

فمثلا نحن نتعلم باكراً أن تنظيف الأسنان بالفرشاة يجب أن يأخذ فقط دقائق معدودة وليس صباحاً كاملاً وأنه عندما يذهب والدنا للعمل فمن المحتمل أن يغيب حوالي ثماني ساعات، وأن «زمن وقعة غذاء» يمكن أن يستغرق دقائق وربما ساعات ولكن ليس أبداً سنة. (يشكل التلفزيون وتقسيمه للزمن إلى فترات من ثلاثين أو ستين دقيقة ضمناً مفاهيمنا عن المدة. وهكذا فإننا نتوقع غالباً أن يحصل البطل في ميلودراما على الفتاة أو أن يجد المال أو أن يربح الحرب في الدقائق الخمسة الأخيرة. في الولايات المتحدة نتوقع أن تظهر الإعلانات في فترات معينة). وإن عقولنا مليئة بفرضيات زمنية كهذه. وتلك التي لدى الأولاد تختلف جداً عن تلك التي لدى البالغين، وهنا أيضاً فالاختلافات هي مصدر صراع.

فضلاً عن ذلك فالأولاد في مجتمع صناعي «مدربون زمنياً» - يتعلمون قراءة الساعة وهم يتعلمون حتى التمييز بين الأجزاء الصغيرة من الزمن من مثل عندما يقول لهم أهلهم «لديك ثلاث دقائق فقط للذهاب للفراش!». هذه المهارات الزمنية غالباً ما تكون غائبة في مجتمعات زراعية بطيئة الحركة التي تتطلب دقة أقل في البرنامج اليومي من مجتمعنا المهووس بالزمن.

تصورات كهذه والتي تتلاءم مع المقاييس الزمنية الاجتماعية والفردية لبروديل لم تُطَّور بمنهجية في العلوم الاجتماعية. ولم تتمفصل بأية طريقة ذات أهمية مع نظرياتنا العلمية عن الزمن مع أنها مرتبطة بشكل ضروري مع فرضياتنا فيما يخص الواقع الفيزيائي. وهذا يعيدنا إلى بريغوجين الذي كان مسحوراً بتصور الزمن منذ الصبى. لقد قال لي مرة أنه عندما كان طالباً فتياً كان مندهشاً من التناقض الكبير في رؤية الطريقة التي ينظر بها العلم إلى الزمن وكان هذا التناقض منبع عمل حياته منذ ذلك الوقت.

في نموذج العالم الذي كونه نيوتن وتابعوه كان الزمن فكرة طارئة. لقد أفترِضَ أن لحظة ما أكانت في الحاضر أم الماضي أم في المستقبل هي تماماً كأية لحظة أخرى، دوران الكواكب بلانهاية – وفي الحقيقة عمل الساعة أو أية آلة بسيطة – يمكن من حيث المبدأ أن يسير وراءً أو أماماً زمنياً دون أي تغيير في أساسيات المنظومة. ولهذا السبب يشير العلماء إلى الزمن في المنظومات النيوتونية على أنه «عكوس».

مهما يكن ففي القرن التاسع عشر عندما تحول التركيز الأساسي في الفيزياء من الديناميك إلى الترموديناميك وعندما أُعلِن القانون الثاني للترموديناميك أصبح الزمن فجأة موضوعاً مركزياً. لأنه حسب القانون الثاني هناك فقدان للطاقة في الكون لا يمكن تفاديه. وإذا كانت الآلة الكونية تتباطأ وتقترب من الموت الحراري فإن ذلك يستتبع أن أية لحظة لم تعد تشبه تماماً اللحظة الأخيرة. ولا يمكنك إرجاع الكون إلى الوراء لاسترجاع الأنطروبية. والأحداث على المدى الطويل لا يمكن أن تعيد ذاتها. وهذا يعني أن هناك اتجاهاً أو كما قال إدينغتون فيما بعد هناك «سهم» للزمن. والحقيقة أن الكون يكبر في العمر. وبدوره إذا كان ذلك صحيحاً فهذا يعني أن الزمن هو طريق ذو اتجاه واحد، وهو لم يعد عكوساً بل لا عكوساً.

باختصار مع بروز الترموديناميك، انقسم العلم في المنتصف بالنسبة للزمن. أسوأ من ذلك أولئك الذين رأوا أن الزمن لا عكوس انقسموا أيضاً إلى فريقين. فضلاً عن ذلك فإن الطاقة وهي تتسرب من المنظومة تضعف قدرتها على دعم بنى منظمة وهذه تتفتت إلى أجزاء أقل تنظيماً وبالتالي أكثر عشوائية. ولكن التنظيم هو بالضبط ما يعطي أية منظومة التنوع الداخلي. وهكذا عندما تستنزف الأنطروبيةُ طاقةَ المنظومة فإنها أيضاً تخفض التنوع فيها. وهكذا فإن القانون الثاني أشار نحو تجانس متزايد للمستقبل - وهذا من وجهة النظر الإنسانية تشاؤمي.

لنتخيل المسائل التي قدمها دارون وأتباعه! فالتطور بدلا من أن يشير إلى تنظيم وتنوع متناقص على العكس يشير إلى الاتجاه المعاكس، ينتقل التطور من البسيط إلى المركب من «الأخفض» إلى «الأعلى». في أشكال الحياة من البنى اللامتنوعة إلى المتنوعة. ومن وجهة النظر الإنسانية فإن كل هذا مثير للتفاؤل. العالم «يتحسن» بالتنظيم كلما كبر بالعمر، وهو يتقدم باستمرار إلى مستويات أعلى كلما تقدم الزمن.

بهذا المعنى يمكن اختصار الأفكار العلمية عن الزمن على أنها تناقض ضمن تناقض.

هذه التناقضات هي التي يتصدى لها بريغوجين واستنجرز لإضاءتها متسائلين «ما هي البنية الخاصة للمنظومات الديناميكية التي تسمح بالتمييز بين الماضي والمستقبل؟ ما هو أقل تعقيد متضَمن؟»

والجواب بالنسبة لهما هو أن الزمن يبدأ بالظهور مع العشوائية: «فقط عندما تتصرف منظومة ما بدرجة كافية من العشوائية يمكن التمييز بين الماضي والمستقبل ولذلك تدخل اللاعكوسية في توصيفها ».

تبدأ الحوادث في العلم الكلاسيكي أو الآلي «بالشروط الابتدائية» وتتبع ذراتها وجزيئاتها «خطوط عالم» world lines أو مسارات. وهذه يمكن رسمها إما رجوعاً إلى الماضي أو أماماً إلى المستقبل. وهذا بالعكس تماماً مما يحدث في بعض التفاعلات الكيميائية، فمثلاً إذا سكبنا سائلين في وعاء واحد فإنهما سيمتزجان حتى يصبح المزيد منتظماً ومتجانساً. ولا يمكن لهذين السائلين أن يعيدا فصل نفسيهما. وفي كل لحظة من الزمن يختلف المزيج والسيرورة بالكامل هي «موجهة زمنياً».

كان يُنظر إلى سيرورات كهذه في العلم الكلاسيكي على الأقل في بداياته الأولى على أنها شواذات غريبة ناشئة عن شروط ابتدائية بعيدة جداً عن التوقع.

إنها أطروحة بريغوجين واستنجرز أن سيرورات كهذه ذات اتجاه واحد ومعتمدة على الزمن هي ليست فقط شواذات أو انحرافات عن عالم زمنه عكوس. بل العكس يمكن أن يكون صحيحاً، إنه الزمن العكوس المتعلق بـــ "منظومات مغلقة" (إذا كانت هذه في الحقيقة توجد في الواقع) الذي يمكن أن يكون الظاهرة النادرة والشاذة.

ما هو أكثر، إن السيرورات اللاعكوسة هي منبع النظام - ولهذا كان العنوان ***نظام ينتج عن شواش***. إنها السيرورات المتعلقة بالعشوائية والانفتاح التي تقود إلى مستويات أعلى من التنظيم، من مثل البنى المبددة.

وفي الحقيقة فإن أحد أهم مواضيع هذا الكتاب هو إعادة تأويل القانون الثاني للترموديناميك. لأنه طبقا لما يقوله المؤلفان ليست الأنطروبية فقط انحداراً إلى الأسفل نحو تخلخل النظام. إنها تصبح تحت بعض الظروف هي ذاتها منتجة للنظام.

ولهذا فإن ما يقترحه المؤلفان هو تركيب شامل يحوي الزمن العكوس واللاعكوس ويبين العلاقة بينهما ليس على مستوى الظاهرة الكبرية (الماكروية) ولكن كذلك على أصغر مستوى ممكن.

إنها محاولة تأخذ بالأنفاس «لإعادة تجميع الأجزاء ثانية». النقاش معقد وبعض الأحيان صعب على الفهم بالنسبة للقارئ العادي ولكنه يضيء بالرؤى الغضة ويقترح طريقة متجانسة لربط تصورات فلسفية تبدو لا علاقة بينها – وحتى متناقضة.

وهنا نبدأ نلمح، في غناه الكامل، التركيبَ الشامخَ المقترحَ في هذه الصفحات. هما يُثِّورا الميكانيك الكلاسيكي، بالتأكيد على أن الزمن اللاعكوس ليس شواذاً ولكنه خاصية للكثير في الكون. بالنسبة لبريغوجين واستنجرز إنها ليست حالة إما / أو. بالطبع لا تزال العكوسية تنطبق (على الأقل لفترات زمنية طويلة بشكل كاف)، ولكن في منظومات مغلقة فقط. وتنطبق اللاعكوسية على باقي الكون.

يُقوِّضُ بريغوجين واستنجرز أيضاً الآراء التقليدية للترموديناميك بإظهارهما أنه في ظروف لا توازن يمكن على الأقل للأنطروبية أن تنتج بدلاً من أن تخفض من النظام والتنظيم – يمكنها أن تنتج الحياة.

إذا كان الوضع كذلك فالأنطروبية أيضاً تفقد صفتها الـــ إما/أو. بينما تتباطأ بعض المنظومات، فإن بعض المنظومات الأخرى تتطور تزامنياً وتصبح أكثر تجانساً. وهذا الرأي المتبادل «وغير المتمانع» nonexclusive، يجعل من الممكن للبيولوجيا والفيزياء أن تتعايشا بدلاً من أن تناقض إحداهما الأخرى.

وأخيراً هناك تركيب آخر عميق متضمن – وهو علاقة جديدة بين المصادفة والضرورة، ولقد نوقشت بدون شك وظيفة المصادفة في أمور الكون

منذ المحارب الأول في العصر الباليوليتي(*) الذي سقط من على صخرة. إرادة الله في العهد القديم مسيطرة وهو لا يتحكم فقط بدوران الكواكب ولكن ينابل(**) إرادة كل وجميع الأفراد كما يراه مناسباً. وكمحرك أولي فكل سببية تصدر عنه وكل الحوادث في الكون هي مقدرة. ولقد حدثت صراعات دموية حول المعنى الدقيق للقضاء والقدر وللإرادة الحرة منذ عصر أوغسطين وخلال صراعات الكارولنجين(***). ولقد ساهم ويكلف Wycliffe وهس Huss ولوثر Luther وكالفن Calvin – كلهم ساهموا في هذا النقاش.

لا حصر للمؤلفين الذين حاولوا التوفيق بين الجبرية وحرية الإرادة.و رأى أحد الآراء البارعة أن الله على الحقيقة حدَّدَ أمور الكون، ولكنه بالنسبة للإرادة الحرة للأفراد، فإنه لم يتطلب عملاً محدداً. هو حدد فقط مجال الخيارات الممكنة لأخذ القرار الإنساني. وتعمل حرية الإرادة بالطابق الأسفل فقط في الحدود التي تعينها اللوائح في الطابق الأعلى.

سيطرت في الثقافة العلمانية لعصر الآلة الجبرية الشديدة قليلاً أو كثيراً حتى بعد تحديات هايزنبرغ و«الارتيابين». وحتى اليوم فإن مفكرين من أمثال رينيه توم René Thom يرفضون فكرة المصادفة على أنها وهمية وهي أساساً غير علمية.

في مقابل هذا الجدار الحجري الفلسفي فإن بعض المدافعين عن حرية الإرادة، والعفوية والارتياب النهائية وخصوصاً الوجوديين فلقد أخذوا بالمقابل مواقف لا مماثلة. (فالكائن البشري بالنسبة لسارتر Sartre كان

(*) العصر الحجري

(**) ينابل ترجمة لكلمة manipulate بمعنى يتعامل مع وهي معتمدة .

(***) ملوك ينتمون إلى شارلمان أعطوا فرنسة أكثر من الثناعشر ملكا آخرهم لويس الخامس وحكموا أيضا في المانيا وايطاليا . المترجم

«دوماً وإطلاقاً حراً»، ولكن وحتى سارتر في بعض كتاباته اعترف ببعض الحدود العملية لهذه الحرية).

شيئان يظهر أنهما يحدثان للتصورات المعاصرة للمصادفة والحتمية. مبدئياً إنهما تصبحان أكثر تعقيداً. وكما كتب إدغار موران Edgar Morin وهو عالم اجتماع فرنسي معروف تحول إلى عالم معرفة:

«يجب أن لا ننسى أن مسألة الجبرية قد تغيرت خلال قرن ... فبدلاً من فكرة قوانين مسيطرة غير معرفة ودائمة تقود كل الأشياء في الطبيعة فإنها استبدلت بفكرة قوانين تفاعل. ...هناك ما هو أكثر : إن مسألة الجبرية قد أصبحت مسألة نظام في الكون. والنظام يعني أن هناك أشياء أخرى بجانب «القوانين»: أن هناك ضوابط ولا متغيرات ومستدامات ومضطردات في كوننا... وبدلاً من المنظور غير المعروف والتجانسي homogenizing للجبرية القديمة فإنه أُستبدِل بمنظور منوّع ومطوِّر *لحتميات*».

وكما ازداد تصور الحتمية غنى، فلقد بذلت جهود جديدة للتعرف على التواجد المتوازي للمصادفة والضرورة وليس على أن إحداهما خاضعة للأخرى ولكن كشريكتين كاملتين في كون ينظم ويفكك تنظيم - ذاته.

وهنا يدخل بريغوجين وستنجرز الحلبة. لأنهما أخذا النقاش درجة أخرى أبعد. فهما لم يشرحا فقط (باقتناع بالنسبة لي، وليس كذلك لرياضيين من مثل رينيه توم) أن الحتمية والمصادفة تعملان معاً، بل يحاولان تبيان كيف تتلاءم المصادفة والحتمية معاً.

وهكذا حسب نظرية التغير المتضمنة في فكرة البنى المبددة، عندما تجبر التأرجحات منظومة ما بعيداً جداً عن حالة التوازن وتهدد بنيتها فإنها تصل إلى لحظة حرجة أو نقطة تفرع. وعند هذه النقطة، حسب المؤلفيْن فإنه من غير

الممكن أساسا أن نحدد مسبقا الحالة التالية للمنظومة. فالمصادفة تدفع بما تبقى من المنظومة نحو طريق جديد في التحول. ومتى تم اختيار ذلك الطريق (من بين كثير) فإن الحتمية تأخذ مجراها مجدداً وحتى الوصول إلى نقطة تفريع تالية.

هنا نرى باختصار المصادفة والضرورة ليس كضدين لا يمكن الجمع بينهما، ولكن كل منهما يقوم بوظيفة شريك في القدر. وهكذا يتم تركيب آخر.

عندما نعود بالزمن العكوس واللاعكوس، بالفوضى والنظام بالفيزياء والبيولوجية، بالمصادفة والضرورة، كلها إلى الإطار الواحد الجديد ونفترض علائقياتها نكون قد قدمنا بياناً كبيراً – قابلا للنقاش بدون شك ولكنه في هذه الحالة قوي وجليل.

مع ذلك فإن لا يُعَبِّر إلا عن جزء من الحماس الذي يحدثه ***نظام ينتج عن شواش*** لأن هذا التركيب الشامل، كما اقترحت، له مغزى مبطن اجتماعي وحتى سياسي. وكما أعطى النموذج النيوتوني لتمثلات في السياسة والدبلوماسية وفي دوائر أخرى تبدو بعيدة عن العلم ، فإن نموذج بريغوجين يسمح بتعميمات مماثلة.

فمثلا بتقديمهما طريقة دقيقة لنمذجة تغيير كيفي ، فإنهما يسلطان الضوء على تصور الثورة. وبشرحهما كيف تُنتِج لا استقرارات متتالية تغيرا تحويليا، فإنهما يضيئان نظرية التنظيم. وكذلك يلقيان ضوءا جديدا على بعض السيرورات النفسية – مثلا التجديد الذي يراه المؤلفان مرتبطاً بالتصرف «غير الوسطي» من النوع الذي ينشأ في الحالات اللامتوازنة.

وحتى ما هو أكثر أهمية ربما، وهي نتائج دراسة السلوك الجمعي. ويحذر بريغوجين واستنجرز من القفز إلى الشروح الجينية أو البيواجتماعية للسلوك الاجتماعي المحير. والكثير مما نسب إلى ارتباطات بيولوجية هي ليست نتاج جينات أنانية حتمية ولكنها تعود لتفاعلات اجتماعية في حالات لا توازن.

(فمثلاً في دراسة حديثة قسمت نملات إلى مجموعتين: احتوت إحداهما على العاملات النشيطات فقط والأخرى على نملات غير فاعلة «كسولة». يمكن للإنسان بتسرع أن يُرجِع هذه الصفات إلى استعداد جيني. إلا أن الدراسة وجدت أنه إذا حُطِّم النظام وذلك بفصل المجموعتين عن بعضهما فإن كل واحدة منهما طورت مجموعتيها القديمتين من العاملات النشيطات والكسولات، فتحولت نسبة لا بأس بها من الكسولات فجأة إلى نشيطات **ستكانوفيت**(*)).

ولهذا فليس من المدهش أن الأفكار التي هي في خلفية هذا الكتاب قد بدأت بالوصول إلى الاقتصاديين ودراسة المدن والجغرافية البشرية،والبيئة، وإلى اختصاصات أخرى عديدة.

لا يمكن لإنسان – ولا حتى للمؤلفين – تقدير النتائج الكاملة لعمل مزدحم بالأفكار مثل ***نظام ينتج عن شواش***. سيخرج ربما كل قارىء محتاراً من بعض أجزاء من هذا الكتاب (بعض الأجزاء هي ببساطة عالية التقنية بالنسبة لقارئ دون خبرة علمية)؛ وآخرون سيبهتون أو سينتعشون (عندما تضرب النتائج على الوتر الحساس)؛ وسيتشكك البعض أحياناً، ولكن سيصبح الجميع أغنى ثقافيا. وإذا كان مقياس أي كتاب هو فيما يحرضه من أسئلة جيدة فإن هذا الكتاب هو قطعاً ناجح.

وهاك بعض الأسئلة التي أقلقتني.

كيف يمكن خارج مختبر أن نُعرِّف «التأرجحات»؟ ما هو معنى «السبب» و«النتيجة» بعبارات بريغوجين؟ وعندما يتكلم الكاتبان عن

(*) ستكانوفيت وهي باسم عامل المناجم السوفياتي الكسي ستكانوف الذي ابتدع طريقة لزيادة الانتاج عن طريق حسن توزيع العمل وتنظيمه بين العمال . المترجم

ذرات تتواصل مع بعضها للوصول إلى تغيير متزامن ومتجانس، أيمكن أن نفترض أنهما لأيسقطان التصرف البشري؟ ولكن ذلك يثير بالنسبة لي مجموعة من النتائج المحيرة حول فيما إذا كانت كل أجزاء البيئة تصدرُ إشارات كل الوقت أو بتقطع؛ حول ترتيب الاتصالات الغير مباشرة أو الأولية أو الثنائية أو من الدرجة N التي تحدث والتي تسمح لذرة أو متعضية أن تستجيب لاشارات لا يمكنها تحسسها لفقدان المستقبلات الضرورية. (يمكن لإشارة مرسلة من المحيط والتي لا يمكن لـ (A) أن تستقبلها، أن تستقبلها (B) وأن تُحوَّل إلى نوع آخر من الإشارات التي (A) مجهزّة لاستقبالها - وبهذا الشكل تعمل (B) عمل مرحِّل/ محول (relay/converter) وتتجاوب (A) مع تغير المحيط من خلال إشارة من درجة ثانية.)

بالنسبة للزمن ما الذي يعتقده الكاتبان بالنسبة للفكرة التي قدمها الفلكي في هارفارد دافيد لايزر (David Layzer) من أنه يمكننا تصور ثلاثة "أسهم للزمن" مختلفة عن بعضها، أحدها مبني على التمدد المستمر للكون منذ الانفجار الأولي، وآخر مبني على الأنطروبية، وثالث مبني على التطور التاريخي والبيولوجي ؟

وهناك سؤال آخر : كم كانت ثورية ثورة نيوتن ؟ فهما يتابعان بعض المؤرخين ويشيران إلى متابعة أفكار نيوتن للسيمياء ولأفكار دينية قديمة. قد يستنتج بعض القراء من كل هذا أن ظهور النيوتونية لم يكن مفاجئا ولا ثوريا. ولكن يجب أن لا نرى الفتح النيوتوني على أنه نمو خطي لهذه الأفكار الأقدم. وفي الحقيقة يبدو لي أن نظرية التغيير المفصَّلة في ***نظام ينتج عن شواش*** تناقش ضد منظور «استمراري» كهذا.

وحتى لو كانت النيوتونية اشتقاقا فإن هذا لا يعني أن البيئة الداخلية للنموذج النيوتوني للعالم كانت في الواقع نفسها أو أنها كانت تواجه المحيط الخارجي بذات العلاقة.

لقد نشأت المنظومة النيوتونية في زمن كانت تنهار حينه الإقطاعية في أوروبا الغربية –عندما كانت المنظومة الاجتماعية، كما يقال بعيدة عن التوازن. ونموذج الكون الذي اقترحه العلماء الكلاسيكيون (حتى ولو كان مشتقا جزئياً) كان يُطبَّق بتماثل على حقول جديدة وكان ينتشر بنجاح ليس لقدرته العلمية أو «صوابيته» ولكن أيضا لأن مجتمعا صناعيا ناشئا ومبنيا على مبادئ ثورية كان يقدم بيئة متقبلة له بصورة خاصة.

وكما بيَّنا سابقا.فإن حضارة الآلة، في بحثها لشرح ذاتها في النظام الكوني للأشياء، قبضت على النموذج النيوتوني وكافأت أولئك الذين طوروه أكثر. لا نجد التحفيز الذاتي فقط في الأواني الكيميائية كما يمكن للكاتبْين أن يدعيا. لهذه الأسباب فإنه لا يزال ذو معنى بالنسبة لي النظر إلى المنظومة المعرفية النيوتونية ذاتها على أنها «بنية ثقافية مبددة» وليدة التأرجح الاجتماعي.

ومن المفارقة كما قلت فإنني أعتقد أن أفكارهما هي مركزية وحتى الثورة الأخيرة في العلم وإنني لا أستطيع إلا أن أرى هذه الأفكار في علاقتها بوفاة عصر الآلة ونشوء ما دعوته «الموجة الثالثة». وبتطبيق تعابيرهما فإننا يمكن أن نُوصِّف تفكك المجتمع الصناعي «الموجة الثانية» على أنه «تفريع» حضاري ونشوء مجتمع «موجة ثالثة» أكثر تنوعاً على أنه قفزة إلى «بنية مبددة» على مستوى العالم. وإذا قبلنا بهكذا مقارنة ألا يمكننا النظر بالطريقة ذاتها إلى القفزة من النيوتونية إلى البريغوجينية ؟ بالطبع تماثل فقط. ولكنه مع ذلك تماثل منير.

أخيراً نعود مرة أخرى إلى المسألة الدائمة التحدي مسألة المصادفة والضرورة. لأنه إذا كان بريغوجين وستنجرز صائبين وكانت المصادفة تؤدي وظيفتها عند أو قرب نقطة تفريع وبعد ذلك تعود السيرورات الحتمية لتسود حتى نقطة التفريع التالية، ألا يقومان بوضع المصادفة ذاتها في إطار الحتمية؟ وبإعطاء المصادفة وظيفة خاصة ألا يقومان بإزالة المصادفة عنها؟

كان من الممتع لي بالنسبة لهذا السؤال أن أتناقش مع بريغوجين، الذي ابتسم خلال العشاء وأجاب: «نعم هذا كان يمكن أن يكون صحيحا لولا أننا بالطبع لا يمكننا أبدا أن نحدد متى سينشأ التفريع التالي». وتظهر المصادفة مرة أخرى كطائر الفينيق.

نظام ينتج عن شواش هو كتاب ممتع نير متطلب ومبهر - مثير للجميع وكثير الإفادة للقارئ المنتبه. إنه كتاب للدراسة والتذوق وإعادة القراءة - وللتساؤل مرة أخرى. إنه يضع العلم والإنسانية في عالم حيث (كل شيء يبقى كما هو) ***ceteris paribus***(•) هو أسطورة - عالم نادرا ما تبقى فيه الأشياء الأخرى ثابتة، متساوية ولا متغيرة. وباختصار إنه يسقط العلم على العالم المعاصر الثوري، عالم اللااستقرار واللاتوازن والاضطراب. إنه يخدم الوظيفة العليا للإبداع - إنه يساعدنا على خلق نظام جديد.

(•) في الأصل باللاتينية.

استهلال
حوار جديد للإنسان مع الطبيعة

يتعرض منظورنا للطبيعة للتغير نحو التنوع والزمني والمعقد. لقد ساد منظورُ عالمٍ آلي العلمَ الغربي لفترة طويلة، حيث بدا العالم في هذا المنظور وكأنه آلة صماء. ونحن ندرك اليوم أننا نعيش في عالم متعدد. صحيح أن هنالك ظواهر تبدو لنا على أنها حتمية وعكوسة مثل حركة نواس دون احتكاك، أو حركة الأرض حول الشمس. لا تعرف السيرورات العكوسة اتجاهاً مميزاً للزمن، ولكن هناك سيرورات لا عكوسة تتضمن سهماً للزمن. إذا خلطت سائلين مثل الماء والكحول فإنهما يمتزجان في اتجاه أمامي للزمن، وهذا ما نلاحظه بالتجربة. إننا لا نلاحظ أبداً السيرورة العكسية: الانفصال التلقائي للمزيج إلى ماء وكحول صافيين، ولذلك فهذه سيرورة لا عكوسة. ويتضمن مجمل الكيمياء سيروراتٍ لا عكوسية كهذه.

من الواضح أنه بالإضافة للسيرورات الحتمية، من الضروري تواجدُ عنصر من الاحتمال ُمتضَّمنٌ في بعض السيرورات الأساسية مثل التطور البيولوجي وتطور الثقافات الإنسانية. وحتى العالِمُ المقتنع بصواب التوصيفات الحتمية سيتردد على الأغلب في استنتاج أنه في لحظة الانفجار الكبير، لحظة خلق الكون كما نعرفه، كان تاريخ نشر هذا الكتاب

مدوناً مسبقاً في قوانين الطبيعة. في المنظور الكلاسيكي، تم اعتبار السيرورات الأساسية للطبيعة على أنها حتمية وعكوسة، بينما أُعتبرت السيرورات التي تتضمن عشوائيةً أو لا عكوسية على أنها مجرد استثناءات. واليوم نرى في كل مكان وظيفة السيرورات اللاعكوسة، **والتأرجحات** fluctuations.

ومع أن العلم الغربي استحث حواراً خصباً لدرجة كبيرة بين الإنسان والطبيعة، إلا أن بعض نتائجه الثقافية كانت كارثية. ويعود الانشقاق ما بين "الثقافتين" في جزءٍ كبيرٍ منه إلى النزاع بين المنظور اللازمني للعلوم الكلاسيكية والمنظور الموجه زمنياً الذي يسود في قسم كبير من العلوم الاجتماعية والإنسانيات. إلا أن شيئاً دراماتيكياً حدث في العلم في العقود القليلة الماضية، شيئاً غير متوقعٍ مثل مولد الهندسة أو الرؤية الشمولية للكون كما عبرت عنها أعمال نيوتن. لقد أصبحنا أكثر فأكثر إحساساً بحقيقة أن العشوائية واللاعكوسية تلعب دوراً متزايداً على كل المستويات من الجسيمات الأولية إلى علم الكونيات. ***يكتشف العلم الزمن***: وهذه هي الثورة المفاهيمية التي يهدف الكتاب إلى توصِّيفها.

تمتد هذه الثورة إلى كل المستويات، إلى مستوى الجسيمات الأولية وإلى علوم الكون وإلى مستوى ما يدعى بالفيزياء الجهرية (الماكرو) التي تتضمن فيزياء وكيمياء الذرات والجزيئات إما مأخوذة منفردة أو مجتمعةً كما في حالات دراسة السوائل والغازات. وربما كان تتبع ما يجري من إعادة صياغة للتصورات في العلم أسهل ما يكون خاصةً على هذا المستوى الجهري. يخوض الديناميك الكلاسيكي والكيمياء الحديثة فترة تحولاتٍ جذرية. إذا سألنا فيزيائياً منذ عدة سنوات: ما التفسير الذي تسمح به الفيزياء

وما هي المسائل الباقية المفتوحة، ربما أجاب من الواضح أنه ليس لدينا فهم كافٍ للجسيمات الأولية أو لتطور الكون، ولكن معرفتنا بالأشياء فيما بين هي مُرضية بشكل جيد. أما الآن فإن أقلية متنامية ونحن من بينها لا نشارك في هذا التفاؤل: لقد بدأنا فقط بفهم مستوى الطبيعة الذي نعيش فيه، وهو المستوى الذي ركزنا عليه في هذا الكتاب.

لكي نعرف قدر عملية إعادة صياغة التصورات التي تتم في الفيزياء اليوم، يجب أن نضعها في المنظور التاريخي المناسب. إن تاريخ العلم بعيدٌ عن أن يكون ذلك التفتح الخطي unfolding الموافق لسلسلة من التقريبات المتتالية نحو حقيقة ما أساسية؛ فهو مليءٌ بالتناقضات وبنقاط التحول غير المتوقعة. ولقد خصصنا جزءاً هاماً من هذا الكتاب للنمط التاريخي الذي اتبعه العلم الغربي بدءاً من نيوتن منذ ثلاثة قرون خلت. كما حاولنا أن نضع تاريخ العلم في إطار تاريخ الأفكار لكي نجمله في تطور الثقافة الغربية خلال القرون الثلاثة الماضية، وبهذه الطريقة فقط يمكننا تقدير فرادة اللحظة التي نعيشها حالياً.

يحتوي تراثنا العلمي على سؤالين أساسيين لم تُقدم لهما أية إجابة حتى الآن، أحدهما هو العلاقة بين الفوضى والنظام. فالقانون الشهير لازدياد الأنطروبية يُوصِّف العالم على أنه يتطور من النظام إلى الفوضى؛ مع ذلك يرينا التطور البيولوجي والاجتماعي ظهور المعقد من البسيط، كيف يمكن هذا؟ كيف تظهر البنية من الفوضى؟ لقد تم تحقيق تقدمٍ كبير في هذا السؤال. نحن نعرف الآن أن اللاتوازن ،جريان المادة والطاقة يمكن أن يكون منبعاً للنظام.

ولكن هناك السؤال الثاني الأكثر أساسية: تصف الفيزياء أو فيزياء الكم الكلاسيكية العالم على أنه عكوس وسكوني، وفي هذا التوصيف ليس

هناك من تطور لا إلى النظام ولا إلى الفوضى؛ تبقى «المعلومات» كما هي مُعرفَّة في الديناميك ثابتة مع الزمن، ولهذا فهناك تناقض واضح بين المنظور السكوني للديناميك والنموذج التطوري للتيرموديناميك. ما هي اللاعكوسية؟ ما هي الأنطروبية؟ إنها من الأسئلة القليلة التي بُحثت كثيراً خلال تاريخ العلم، ولقد بدأنا في التمكن من إعطاء بعض الأجوبة. النظام والفوضى هي أفكار معقدة: فالوحدات المُتضمَّنة في التوصيف السكوني للديناميك ليست ذاتها التي يجب تقديمها لكي نحصل على النموذج التطوري كما يعبر عنه زيادة الأنطروبية. وهذا التحول يقود إلى تصور جديد للمادة، مادة «فاعلة». حيث تقود المادة إلى سيرورات لا عكوسة، والسيرورات اللاعكوسة تنظم المادة.

مارس النموذج التطوري ومن ضمنه تصور الأنطروبية سحراً جذاباً امتد لأبعد من العلم ذاته. إننا نأمل أن توحيدنا للديناميك وللترموديناميك سيبين بوضوح الجدة الجذرية لتصور الأنطروبية بالنسبة للمنظور الآلي mechanistic للعالم. الزمن والواقع مرتبطان بشكل وثيق، وبالنسبة للإنسان فإن الواقع متموضع في مجرى الزمن. وكما سنرى فإن لا عكوسية الزمن هي ذاتها متعلقة بشكل وثيق بالأنطروبية، فلكي نرجع بالزمن إلى الوراء فإنه علينا أن نتخطى حاجزاً لانهائياً للأنطروبية.

لقد تعامل العلم تراثياً مع «الكليات» universals وتعاملت العلوم الإنسانية مع «الخصوصيات» particulars. وإن تلاحم العلم والإنسانيات قد تم التأكيد عليه في عنوان الكتاب بالفرنسية ***الحلف الجديد*** ***La Nouvelle Alliance*** المنشور من قبل دار غاليمار في باريس سنة ١٩٧٩. ولكننا لم ننجح في إيجاد معادل إنكليزي لهذا العنوان، وأكثر من ذلك فإن النص الذي

نقدمه هنا يختلف عن النسخة الفرنسية، وخاصةً في الفصول من السابع وحتى التاسع. ومع أننا كنا قد عالجنا أصل البنى structure كنتيجة لسيرورات لا متوازنة في النسخة الفرنسية بدقة تامة (وكذلك في الترجمات التي تلت ذلك)، إلا أنه وجب علينا إعادة كتابة القسم الثالث بمجمله، ذلك الذي يبحث في نتائجنا الجديدة فيما يتعلق بأصول الزمن، وكذلك بصياغة النموذج التطوري في إطار العلوم الفيزيائية.

كل ذلك حديثٌ تماماً. إن إعادة صياغة تصورات الفيزياء بعيدةٌ عن أن تكون قد انتهت. ومع ذلك فلقد قررنا أن نعرض الموقف كما يبدو لنا الآن. لدينا شعورٌ بنشوة ثقافية عارمة: لقد بدأنا نلمح الطريق الذي يقود من الوجود إلى الصيرورة، وحيث أن أحدنا قد خصص معظم حياته العلمية لهذه المسألة فإنه ربما يكون معذوراً لتعبيره عن شعوره بالرضى والتحقق الجمالي، الذي يرجو أن يشاطره القارئ. لقد بدا لوقت طويل أن هناك نزاعاً بين ما يبدو أبدياً خارج الزمن وما هو ضمن الزمن. وإننا نرى الآن أن هناك شكلاً أكثر براعة للواقع يتضمن الأبدية والزمن معاً.

هذا الكتاب هو نتاج جهود متضافرة شارك فيها زملاء وأصدقاء. لا يمكننا أن نشكر كل واحد منهم فردياً. إلا أننا نرغب أن نشير إلى ما ندين به لـــ إيريك يانتش Erich Jantsch، أهارون كاتشالسكي Aharon Katchalsky، بيير ريزبوا Pierre Resibois وليون روزنفلد Leon Rosenfeld الذين لم يعودوا للأسف بيننا. ولقد اخترنا أن نهدي هذا الكتاب لذكراهم.

كما نرغب أيضاً في أن نشكر الدعم المتواصل الذي تلقيناه من المعاهد الدولية للفيزياء والكيمياء المؤسسة من قبل سولفي E. Solvay ، ومن مؤسسة روبرت ولش RobertA.Welch.

إن الجنس البشري في طور تحول. وربما يمكن للعلم أن يلعب دوراً هاماً في هذه اللحظة من الانفجار السكاني. ولهذا فإنه من الضروري أكثر من أي وقتٍ مضى إبقاء قنوات الاتصال مفتوحة بين العلم والمجتمع. والتطور الحالي للعلم الغربي قد أخرجه من المناخ الثقافي للقرن السابع عشر الذي ولد فيه. إننا نعتقد أن العلم في هذه الأيام يحمل رسالة عالمية أكثر قبولاً لتراثات ثقافية مختلفة.

خلال العقد الماضي كانت كتب الفن توفلر Alvin Toffler هامة في إبراز بعض خصائص «الموجة الثالثة» التي تُوصِّف عالمنا. ولذا فنحن ممتنون له لتقديمه للنسخة الإنكليزية من هذا الكتاب. ليست الإنكليزية لغتنا الأم، وإننا نعتقد أنه لحدٍ ما فإن كل لغة تُقدِم طريقة مختلفة في وصف الواقع المشترك الذي نحن فيه، وبعض هذه الخصائص ستتجاوز حتى أية ترجمة مهما كانت دقيقة. وعلى كل فنحن ممتنون لجوزيف ايرلي Joseph Early وايان ماكجيلفري Ian MacGilvray وكارول ثورستن Carol Thurston وخاصةً لكارل روبينو Carl Rubinoلمساعدتهم في تحضير هذه النسخة الإنكليزية. ونريد أيضاً أن نعبر عن شكرنا العميق لـ باميلا بيب Pamela Pape لطباعتها الدقيقة للترجمات المتتالية للمخطوطة.

مقدمة

تحدي العلم

- ١ -

ليس من المبالغة القول أن أهم التواريخ في تاريخ البشرية كان ٢٨ نيسان أبريل سنة ١٦٨٦ عندما قدم نيوتن كتابه ***المبادىء Principia*** إلى الجمعية الملكية في لندن. لقد احتوى الكتاب على القوانين الأساسية للحركة، بالإضافة إلى صياغة واضحة للتصورات الأساسية التي لا نزال نستخدمها اليوم مثل الكتلة mass والتسارع acceleration والعطالة inertia. والقسم الذي ترك أكبر الأثر هو الكتاب الثالث من «المبادئ» والمعنون بـــ ***منظومة العالم System of the World*** والذي احتوى على القانون العام للثقالة. ولقد أدرك معاصرو نيوتن الأهمية الفريدة لعمله، وأصبحت الثقالة موضوع الحديث في كل من لندن وباريس.

لقد مضت ثلاثة قرون الآن على *مبادئ* نيوتن. ولقد نما العلم بسرعة لا تصدق متغلغلاً في حياتنا جميعاً. ولقد اتسع أفقنا العلمي إلى آفاق واسعة رحيبة حقاً، فعلى المقياس الصغري (الميكروي) تدرس فيزياء الجسيمات الأولية سيرورات تتضمن أبعاداً فيزيائية من رتبة $١٠^{-١٥}$سم، وأزمنة من رتبة $١٠^{-٢٢}$ثا. ومن طرفٍ آخر يقودنا علم الكون cosmology إلى أزمنة من رتبة $١٠^{١٠}$ سنة: وهو

«عمر الكون». العلم والتقنية مرتبطان أشد ما يكون الارتباط. ويَعِد تقدم التقنيات الجديدة في البيولوجيا والمعلوماتية من بين عوامل عدة بتغير حياتنا بشكل جذري.

بالتوازي مع هذا النمو الكمي تجري تغيرات كيفية يصل مداها إلى أبعد من العلم وتؤثر حتى على تصوراتنا للطبيعة ذاتها. لقد أكد المؤسسون العظام للعلم الغربي على الطبيعة العمومية والأبدية للقوانين الطبيعية، وانطلقوا لصياغة الخطط العامة التي تلتحم بالمثل الأعلى للعقلانية ذاتها. وكما يقول روجر هاوشير Roger Hausheer في مقدمته الرائعة لكتاب إيشعيا برلين Isaia Berlin ***ضد التيار*** ***Against the Current*** «لقد بحثوا عن مخططاتٍ شاملة، أطرٍ موحدة كلية يمكن أن يبين ضمنها، أن كل ما هو موجود، منهجياً –أي منطقياً أو سببياً causally– مترابط وأن هناك بنى واسعة يجب أن لا تبقى فيها فُرَجٌ مفتوحة لأية تطورات غير ملحوظة وتلقائية، وأن كل ما يجري يجب أن يكون على الأقل من حيث المبدأ قابلاً تماماً للتفسير بعبارات قوانين عامة ثابتة»(١).

في الحقيقة إن قصة هذا البحث دراماتيكية. لقد كانت هناك لحظات بدا فيها وكأن هذا الطموح أصبح قريب الاكتمال. وبدا الوصولُ إلى مستوى أساسي حيث يمكن فيه استنتاج كل خصائص المادة الأخرى قريبَ المنال. يمكن ربط هذه اللحظات بصياغة بور Bohr الشهيرة لنموذجه الذري والذي أرجع المادة إلى منظومات كوكبية مكونة من الإلكترونات والبروتونات. وهناك لحظة أخرى من الترقب الكبير عندما أمِلَ آينشتاين أن يوحد كل قوانين الفيزياء في «نظرية حقل موحد». وفي الحقيقة لقد حدث تقدم كبير نحو توحيد بعض القوى الأساسية الموجودة في الطبيعة. ومع ذلك بقي المستوى الأساسي بعيد المنال. أينما نظرنا رأينا تطوراً وتنوعاً ولا استقراراً، ومن الغريب أن هذا صحيح على كل المستويات: في حقل الجسيمات الأساسية، في البيولوجيا، وفي فيزياء الفلك مع تمدد الكون وتشكل الثقوب السوداء.

كما ذكرنا في الاستهلال يتعرض منظورنا للطبيعة لتحولٍ جذريٍ نحو المتنوع والزمني والمعقد. ومن الغريب أن التعقيد غير المتوقع الذي اكتشف في الطبيعة لم يؤد إلى تباطؤ في تقدم العلم، بل العكس؛ لقد أدى إلى ظهور بنى تصورية جديدة هي أيضاً أساسية لفهمنا للعالم الفيزيائي؛ العالم الذي نعيش فيه. إن هذا الوضع الجديد الذي ليس له مثيل في تاريخ العلم هو ما نصبو إلى تحليله في هذا الكتاب.

لا يمكن فصل قصة تصوراتنا العلمية والطبيعية عن قصة أخرى وهي قصة تلك المشاعر التي يثيرها العلم. تأتي مع كل برنامج ثقافي جديد دوماً آمال جديدة ومخاوف وتوقعات. كان التأكيد في العلم الكلاسيكي على القوانين غير المعتمدة على الزمن. وكما سنرى متى تم قياس حالةٍ واحدة خاصةً لمنظومة ما فإن قوانين العلم الكلاسيكي من المفترض أنها ستعين مستقبل المنظومة كما عينت ماضيها. من الطبيعي أن يثير هذا البحث عن حقيقة أزلية قابعة خلف الظواهر المتغيرة الحماس فينا. ولكن توصيفاً للطبيعة بهذا الشكل أحدث صدمة، حيث بدت الطبيعة وكأنها في الحقيقة موضوع تحقير، وبنجاح العلم ذاته بدت الطبيعة وكأنها آلة غبية أنسالية robot.

ولقد وُجِدَ الدافع إلى إرجاع التنوع في الطبيعة إلى شبكةٍ من التحليلات في الفكر الغربي. منذ عصر الذريين اليونان كتب لوكريتشيوس Lucretius متابعاً أستاذيْه ديموقريطس Democritus وأبيقور Epicurus أن العالم هو "فقط" ذرات وفراغ، ويحثنا على البحث عن الخبيء خلف البيِّن: «مع ذلك فلكي لا تشك بكلماتي، حيث أن العين لا يمكنها إدراك الأجسام الأولية. اسمع الآن عن جسيمات يجب أن نقبل بوجودها رغم عدم إمكانية رؤيتها»[٢].

ولكن من المعروف جيداً أن الدافع وراء أعمال الذريين اليونان لم يكن تحقير الطبيعة، ولكن تحرير الإنسان من الخوف؛ الخوف من أي كائن ما

فوق طبيعي ومن أي نظام يسمو على الإنسان والطبيعة. ويكرر لوكريتشيوس مرةً بعد أخرى أنه لا مجال للخوف، وأن ماهية العالم هي تشابكات associations أزلية متغيرة للذرات مع بعضها ضمن الفراغ.

ولقد حول العلم الحديث هذا الموقف الأخلاقي الأساسي لما يمكن أن يشبه الحقيقة المعتمدة؛ هذه الحقيقة في إرجاع الطبيعة إلى ذرات وفراغ أدت بدورها لما دعاه لنوبل Lenoble (٣)، «قلق الإنسان المعاصر». كيف يمكن أن نتعرف على أنفسنا في هذا العالم العشوائي من الذرات؟ هل يجب أن يُعَرَّف العلم بتعابير قطيعة بين الإنسان والطبيعة؟ «لا تساوي كل الأجسام والسماوات والنجوم والأرض وكل ممالكها أخفض عقل لأن العقل يدرك كل ذلك من ذاته ولا تدرك هذه كلها شيئاً»(٤). هذا التأمل من باسكال Pascal يعبر عن ذات الشعور بالاغتراب الذي نجده لدى العلماء المعاصرين من أمثال جاك مونو Jacques Monod:

يجب أن يستيقظ الإنسان أخيراً من حلمه الألفي؛ وبهذا يدرك عزلته وانفراده الأساسي. ويتحقق الآن أنه كغجري يعيش على حواف عالمٍ غريب، عالمٍ أطرش لا يسمع موسيقاه ولا مبال لآماله ولا لآلامه ولا لجرائمه(٥).

هذه مفارقة. كشفٌ لامع في البيولوجية الجزيئية وفك للشيفرة الوراثية ساهم فيهما مونو بحميّة، ينتهي كل هذا إلى هذه النغمة التراجيدية. يُقال لنا أن التقدم العلمي ذاته يجعل منا غجر الكون! كيف يمكن تفسير هذا الموقف؟ أليس العلم طريقةً في التواصل؟ أليس هو حوارٌ مع الطبيعة؟

كانت تقام في الماضي تمايزات قاسية بين عالم الإنسان والعالم الطبيعي المفترض أنه غريب. وتصف فقرة شهيرة لفيكو Vico في كتاب ***العلم الجديد*** ***The New Science*** ذلك:

....في الليل البهيم الذي يحيط بالقدماء الأولين البعيدين عنا، يلمع ضوءٌ أبدي لا يخطئ، هو ضوء الحقيقة التي هي فوق كل تساؤل: بالتأكيد لقد صنع الإنسان عالم المجتمع المدني، ولذلك على مبادئه أن تكون موجودةً في ثنايا تحولات عقلنا البشري ذاته. إن من يتأمل لا يمكنه إلا أن يندهش أن كل الفلاسفة قد حولوا كل طاقاتهم لدراسة عالم الطبيعة والتي حيث أن الله قد خلقها فهو وحده القادر على إدراكها، وبذلك أهملوا دراسة علم الأمم والعالم المدني الذي حيث أن الإنسان قد صنعه فهو القادر على إدراكه[٦].

إن الأبحاث الحديثة تقودنا بعيداً أكثر فأكثر عن المقابلة بين الإنسان والعالم الطبيعي، وسيكون أحد أهم أهداف هذا الكتاب إظهار أنه بدلاً من الانقطاع والانفصال ،الانسجام المتنامي لمعرفتنا بالإنسان وبالطبيعة.

- ٢ -

أخذ التساؤل مع الطبيعة في الماضي الأشكال الأكثر تنوعاً؛ اكتشف السومريون الكتابة، وظن الكهّان أن المستقبل ربما كان مدوناً بطريقة ما في الأحداث التي تجري من حولنا في الحاضر. حتى أنهم منهجوا هذا الاعتقاد مازجين عناصر سحرية مع أخرى عقلانية[٧]. بهذا المعنى يمكننا القول أن العلم الغربي الذي نشأ في القرن السابع عشر أنتج فقط فصلاً جديداً في الحوار الذي لا ينتهي بين الإنسان والطبيعة.

ولقد عرَّف الكسندر كويريه Alexandre Koyré [٨] التجديد الذي قام به العلم الحديث بتعابير «التجريب». العلم الحديث مبني على اكتشاف شكل جديد ومحدد من التواصل مع الطبيعة _ وهو الاعتقاد بأن الطبيعة تستجيب لتساؤل التجريب. كيف يمكننا تعريف الحوار مع الطبيعة بشكل أكثر دقة؟ إن

التجريب لا يعني الملاحظة الأمينة للوقائع كما تحدث، وليس فقط البحث عن علاقات تجريبية بين الظواهر، ولكنه يفترض تفاعلاً منهجياً بين التصورات النظرية والملاحظة.

ولقد عَّبر العلماء بمئات الطرق المختلفة عن دهشتهم، عندما يتم اختيار السؤال المناسب فإنهم يكتشفون كيف تتراكب أجزاء الأحجية. بهذا المعنى فإن العلم شبيهٌ بلعبةٍ بين اثنين علينا فيها أن نخمن تصرف واقع لا علاقة له باعتقاداتنا وطموحاتنا وآمالنا. لا يمكن إجبار الطبيعة أن تقول ما نريده، والبحث العلمي ليس حواراً من طرفٍ واحد monologue. وبالضبط فإن عنصر المغامرة هو ما يجعل اللعبة مثيرة.

ولكن فرادة العلم الغربي هي بعيدة عن أن تكون قد ُاستنزِفت باعتبارات منهجية كهذه. فعندما ناقش كارل بوبر Karl Popper الوصف القياسي للعقلانية العلمية، أُجبِرَ على أن يعترف أنه في التحليل الأخير يدين العلم بوجوده إلى نجاحه؛ الطريقة العلمية قابلةٌ للتطبيق فقط بوجود اتفاق مدهش بين النماذج التي سبق تصورها والنتائج التجريبية(٩). العلم هو لعبة مخاطرة، ولكنه بدا وكأنه اكتشف الأسئلة التي تقدم لها الطبيعة أجوبة قياسية.

إن نجاح العلم الغربي هي حقيقة تاريخية غير متوقعةً مسبقاً، وهي حقيقة لا يمكن تجاهلها. ولقد قاد نجاح العلم الحديث إلى تحول لا عكوس في علاقاتنا مع الطبيعةِ. بهذا المعنى يمكن استعمال التعبير "الثورة العلمية" بصورة شرعية. إن تاريخ الجنس البشري ُمؤشَر بنقاط عَّلام أخرى وباقتران ظروف شاذة أخرى قادت إلى تغيرات لا عكوسة. إحدى هذه الأحداث الحاسمة هو ما عرف «بالثورة النيولوتية»***Neolithic revolution***. ولكن هناك

كما في حالة «الخيارات» التي تؤشر للتطور البيولوجي فإنه علينا الآن أن نتقدم بالتخمين، بينما هناك ثروة من المعلومات فيما يتعلق بالأحداث الحاسمة في التطور العلمي. لقد دامت «الثورة النيولوتية» آلاف السنين. بينما يمكننا القول ببساطة أن الثورة العلمية بدأت منذ ثلاثة قرون. لدينا ربما فرصة فريدة في فهم المزيج الخاص والجلي بين «المصادفة » و«الضرورة» الذي يسم هذه الثورة.

لقد بدأ العلم بحوارٍ ناجحٍ مع الطبيعة، ومن ناحية أخرى كان ناتج هــذا الحوار اكتشاف عالمٍ صامت، وهذه هــي مفارقة العلم الكلاسيكي. لقد كشف الإنسان طبيعة ميتة وسلبية، طبيعة تتصرف كالآلة المبرمَجة متى تمت برمجتها فهي تتبع الأوامر المسجلة في هذا البرنامج. بهذا المعنى فإن الحوار عَزَلَ الإنسان عن الطبيعة بدلاً من أن يقربه منها. لقد انقلب انتصار العقل البشري إلى حقيقة محزنة، وبدا وكأن العلم يُحقِّر كل شيء يلمســه.

لقد أرهب العلم الحديث معارضيه الذين بدا لهم على أنه خطرٌ مميت وكذلك بعض مؤيديه الذين رأوا في عزلة الإنسان كما "اكتشفها" العلم الثمن الذي يجب أن ندفعه لهذه العقلانية الجديدة.

ويمكن أن نُرجِع بعض المسؤولية عن وضع العلم القلق ضمن المجتمع إلى القلق الثقافي المرافق للعلم الكلاسيكي؛ لقد قاد إلى تقبل بطولي للنتائج القاسية لعقلانيته، ولكنه قاد أيضاً إلى رفض عنيف. وسنعود لاحقاً إلى الحركات الحالية المعادية للعلم. لنأخذ مثالاً سابقاً – الحركة اللاعقلانية في ألمانيا في العشرينات من هذا القرن التي شكلت الخلفية الثقافية لميكانيك الكم (١٠). بالمعارضة مع العلم والذي كان يُعرَّف

بمجموعة من التصورات مثل السببية والحتمية والاختزالية والعقلانية، كان هناك صعود لأفكار مرفوضة من العلم ولكن كان يُرَى أنها تمثل التجسيم للاعقلانية الأســـاسية للطبيعة. وهكذا أصبحت الحياة والقدر والحرية والعفوية مظاهر لعالم ســـفلي غامض لا يمكن للعقل أن يدخله.يمكننا أن نقرر أن هذا الرفض، ودون الدخول في السياق الاجتماعي والسياسي الخاص الذي يدين له بطبيعته الحادة، يشرح المخاطر المرتبطة بالعلم الكلاسيكي. وبالقبول فقط لمعنى ذاتي لمجموعة تجارب يعتقد الإنسان أنها مهمة، فإن العلم يتعرض لخطر أن ينقل هذه إلى مملكة اللاعقلاني مانحاً لها قوة طاغية.

وكما أكد جوزيف نيدهام Joseph Needham فإن الفكر الغربي تأرجح دوماً بين العالم كآلة ذاتية الحركة ولاهوت فيه يحكم الله الكون. وهذا ما يدعوه نيدهام «**بالشيزوفرنيا**(*) **الأوربية الخاصة**»(١١)، وفي الحقيقة فإن هذين التصورين مرتبطان فالآلة بحاجة إلى إله خارجي.

هل علينا حقاً أن نقوم بهذا الخيار المأساوي؟ هل يجب علينا الاختيار بين علم يقود إلى اغتراب وبين ميتافيزياء معادية للعلم؟ نعتقد أن خياراً كهذا لم يعد ضرورياً حيث أن التغيرات التي تحصل للعلم الآن تقود إلى وضع جديد بشكل جذري. يعطينا هذا التطور الجديد للعلم فرصة فريدة لاعادة اعتبار مكانته في الثقافة عموماً. نشأ العلم الحديث في السياق الخاص للقرن السابع عشر الأوروبي. ونحن نقترب الآن من نهاية القرن العشرين ويظهر أن العلم يحمل أكثر من ***رسالة كلية*** تتعلق بتفاعل الإنسان مع الطبيعة وأيضاً الإنسان مع الإنسان.

(*) ازدواج الشخصية.

-٣-

ما هي فرضيات العلم الكلاسيكي التي نعتقد أن العلم تحرر منها الآن؟ عموماً هي تتركز حول الاعتقاد الأساسي على مستوى ما ***أن العالم بسيط*** ومحكوم بقوانين أساسية عكوسة زمنياً. ويبدو اليوم هذا التبسيط مفرطاً. ويمكن تشبيه هذا بإرجاع الأبنية إلى أكوام من الطوب. ولكننا من نفس الطوب يمكننا أن نبني مصنعاً أو قصراً أو كنيسة. إننا ندركها على مستوى البناء ككل على أنها مخلوق في الزمن، نتاج ثقافة أو مجتمع أو طراز. ولكن هناك المسألة الإضافية والجلية أنه لا يوجد أحد ليبني الطبيعة. يجب أن نعطي «لطوبها» ذاته _أي لفعاليتها الصغرية_ وصفاً يفسر عملية البناء هذه.

إن بحث العلم الكلاسيكي نفسه مثال يبين **الثنائية المتعارضة** dichotomy التي تجري خلال تاريخ الفكر الغربي. كان يعتبر تراثيا عالم الأفكار الثابتة فقط على أنه «المضاء بشمس الإدراك» إذا استعملنا تعبير أفلاطون. وبنفس المعنى فإن القوانين الأبدية فقط هي التي كان ينظر إليها على أنها تُعبِّر عن العقلانية العلمية. وكان ينظر باستخفاف إلى الزمنية على أنها وهم. لم يعد هذا صحيحاً اليوم. لقد اكتشفنا أنه بعيداً عن أن تكون وهماً تلعب اللاعكوسية دوراً أساسياً في الطبيعة وتقع في أصل معظم سيرورات التنظيم الذاتي. إننا نجد أنفسنا في عالم حيث تنطبق العكوسية والحتمية على حالات بسيطة متناهية فقط بينما اللاعكوسية والعشوائية هما القاعدة. لقد كان رفض الزمن والتعقيد محورياً بالنسبة للمنطلقات الثقافية التي أقامها المشروع العلمي في تعريفه الكلاسيكي. وكان أيضاً تحدي هذه التصورات حاسماً لتحول العلم الذي نرغب في توصيفه. لقد أدخل آرثر أدينغتون Arthur Eddington في كتابه ***طبيعة العالم الفيزيائي*** ***The***

Nature of The Physical World [١٢] تمييزاً بين القوانين الأولية والقوانين الثانوية. تتحكم «القوانين الأولية» في سلوك الجسيمات المفردة بينما تنطبق «القوانين الثانوية» على مجموعة ذرات أو جزيئات. والإلحاح على القوانين الثانوية هو تأكيد على أن توصيف السلوكيات الأولية ليست كافية لفهم المنظومة ككل. كمثال بارز لقانون ثانوي من وجهة نظر أدينغتون، القانون الثاني للترموديناميك، القانون الذي يدخل «سهم الزمن» في الفيزياء. ويكتب أدينغتون: «من وجهة نظر فلسفة العلم يجب أن يُقَيَّم التصور المتعلق بالأنطروبية على أنه أهم إنجاز للفكر العلمي للقرن التاسع عشر. لقد أشار إلى رد فعل على الرأي القائل أن أي شيء بحاجة للعلم أن يدرسه يكتشف بالتقطيع الصغري للأشياء»[١٣]. وهذا الاتجاه تم تضخيمه إلى درجة درماتيكية في هذه الأيام.

إنه من الصحيح أن بعضاً من أعظم إنجازات العلم الحديث كانت على المستوى الصغري، مستوى الجزيئات والذرات أو الجسيمات الأولية. فمثلاً نجحت البيولوجية الجزيئية نجاحاً باهراً في عزل جزيئات خاصة تلعب دوراً أساسياً في آلية الحياة. وفي الواقع فإن هذا النجاح كان طاغياً لدرجة أنه بالنسبة لبعض العلماء أصبح هدف البحث العلمي متماهياً مع هذا «التقطيع الصغري للأشياء» حسب تعبير أدينغتون. إلا أن القانون الثاني قدم أول تحد لتصورٍ للطبيعة يشرح بسهولة المعقد ويرجعه إلى بساطة عالم ما خفي. ويتم في هذه الأيام تناحي shifting الاهتمام من المادة إلى العلاقة والاتصال والزمن.

إن تغير المنظور هذا ليس نتيجة قرار ما عشوائي. لقد فُرِضَ علينا في الفيزياء كنتيجة لكشوف جديدة لم يكن يتوقعها أحد. من كان يتوقع أن معظم (وربما كل) الجسيمات الأولية سيبرهن على أنها غير مستقرة؟ من كان يتوقع أنه مع كون يتمدد كما برهن على ذلك تجريبياً فإنه يمكننا تصور تاريخ العالم ككل؟

في نهاية القرن العشرين تعلمنا أن نفهم بشكل أفضل ثورتين علميتين شكلتا فيزياء عصرنا ميكانيك الكم والنسبية. لقد بدأتا كمحاولات لتصحيح الميكانيك الكلاسيكي ولدمج ثوابت كلية، تم كشفها حديثاً فيه. لقد تغير الوضع في هذه الأيام، فقد أعطانا ميكانيك الكم الإطار النظري لتوصيف التحولات المستمرة للجسيمات إلى بعضها البعض. وبالمثل أصبحت النسبية النظرية الأساسية التي بعباراتها يمكننا توصيف التاريخ الحراري لكوننا في مراحله الأولى.

لكوننا صفة متعددة ومعقدة. يمكن أن تتلاشى البنى ولكنها يمكن أن تظهر أيضاً. بعض السيرورات، حسب علمنا، تُوصَّفُ جيداً بمعادلات حتمية ولكن أخرى تتضمن سيرورات احتمالية.

كيف إذن يمكننا التغلب على التناقض الظاهر بين هذه التصورات؟ فنحن نعيش في كون مفرد. وكما سنرى، فإننا بدأنا في تحبيذ معاني هذه المسائل. بالإضافة إلى أن الأهمية التي نعطيها الآن لمختلف الظواهر التي نراقبها ونوصفها هي مختلفة، وحتى معاكسة، لما اقترحته الفيزياء الكلاسيكية. فهناك السيرورات الأساسية كما ذكرنا تعتبر حتمية وعكوسة. وتعتبر السيرورات التي تتضمن شواشاً ولا عكوسية على أنها استثناء. أما اليوم فنرى في كل مكان دور السيرورات اللاعكوسة، والتأرجحات. وتبدو لنا النماذج التي تعتبرها الفيزياء الكلاسيكية وكأنها تحدث كأوضاع تناهٍ مثل تلك التي يمكن أن نقوم بها صنعياً بوضع مادة في صندوق والانتظار حتى تصل إلى التوازن.

يمكن للصنعي أن يكون حتمي وعكوس، أما الطبيعي فيحوي عناصر أساسية من العشوائية واللاعكوسية. ويقود هذا إلى منظور آخر للمادة حيث المادة فيه ليست المادة السلبية الموصَّفة في منظور العالم الآلي ولكنها متعلقة بالفعالية التلقائية. إن هذا التغيير هو من العمق بحيث أننا كما ذكرنا في استهلالنا يمكننا التكلم عن حوار جديد بين الإنسان والطبيعة.

يعالج هذا الكتاب التحول التصوري للعلم من العصر الذهبي للعلم الكلاسيكي وحتى العصر الحاضر. ولوصف هذا التحول كان من الممكن أن نختار شتى الطرق. كان من الممكن أن ندرس الجسيمات الأولية. وكان من الممكن أن نتابع التطورات المدهشة في الفيزياء الفلكية. هذه المواضيع التي تُعيِّن حدود العلم. مع ذلك وكما ذكرنا في استهلالنا فإنه خلال السنوات الماضية تمت اكتشافات عديدة لخصائص الطبيعة على مستوانا حتى أننا قررنا أن نركز على المستوى الوسيط وعلى مسائل تنتمي بشكل أساسي إلى العالم الجهري (الماكروي) الذي يشمل الذرات والجزيئات وخاصة الجزيئات البيولوجية. ومع ذلك من المهم أن نؤكد أن تطور العلم يجري حسب نوع من الخطوط المتوازية في كل مستوى، أكان ذلك في مستوى الجسيمات الأولية أو الكيمياء أو البيولوجيا أو علم الكون. ويلعب الزمن على كل مقياس من التنظيم الذاتي أو التعقيد دوراً جديداً غير متوقع.

لهذا فإن هدفنا هو فحص مغذى ثلاثة قرون من التقدم من نقطة منظور محددة. هناك بالطبع عامل ذاتي subjective element في طريقة اختيار مادتنا. فإن مسألة الزمن هي في المركز في أبحاث أحدنا طوال حياته. عندما واجه وهو بعد تلميذ فتي في جامعة بروكسل علوم الفيزياء والكيمياء لأول مرة وأصيب بالدهشة عندما اكتشف أن العلم لديه القليل مما يقوله بالنسبة للزمن وخاصة أن دراسته السابقة كانت مركَّزة أساسا على التاريخ وعلم الآثار. وكان لهذه المفاجأة أن تقوده إلى أحد موقفين

نجد كليهما ممثلين في الماضي: أحد الموقفين كان أن يتخلى عن المسألة تماماً حيث أن العلم الكلاسيكي ليس فيه مكان للزمن؛ والموقف الآخر هو أن يبحث عن طريقة أخرى في فهم الطبيعة،طريقة يلعب فيها الزمن دوراً مختلفاً وأكثر أساسية. وهذا هو المسار الذي اختاره برغسون ووايتهد منذ قرن مضى لكي لا نذكر إلا هذين الفيلسوفين. الموقف الأول سيكون «وضعياً» أما الثاني فهو «ميتافيزيقي».

مع ذلك كان هناك مسار ثالث والذي تمثل بالتساؤل فيما إذا كانت بساطة التطور الزمني المعتبرة تراثياً في الفيزياء والكيمياء ترجع إلى حقيقة أنه كان يُعطَى اهتماماً رئيسياً لبعض الأوضاع المبسَّطة جداً كما لو نظرنا إلى أكوام من الطوب بدلاً من الكاتدرائية التي أشرنا إليها سابقاً.

ينقسم هذا الكتاب إلى ثلاثة أجزاء يبحث الجزء الأول في انتصار العلم الكلاسيكي وفي النتائج الثقافية لهذا الانتصار، فلقد أُستقبل العلم مبدئياً بالحماس. ثم سنوصِّف الاستقطاب الثقافي الذي حصل كنتيجة ***لوجود*** العلم الكلاسيكي ولنجاحه المدهش. هل يجب تقبل هذا النجاح كما هو، ربما بالحد من نتائجه، أو هل يجب أن تُرفَضَ الطريقة العلمية ذاتها على أنها متحيزة أو جزئية أو وهمية؟ يقود كلا الخيارين إلى النتيجة ذاتها _ الصدام بين ما دُعي غالباً «بالثقافتين» العلم والإنسانيات.

لعبت هذه الأسئلة دوراً أساسياً في الفكر الغربي منذ صياغة العلم الكلاسيكي. نعود مراراً إلى مسألة «كيف نختار؟». لقد رأى جيداً إشعيا برلين Isaia Berlin في هذا السؤال بداية الانشقاق بين العلوم والإنسانيات:

الخاص والفريد يقابل المتكرر والكلي، المجسد مقابل التجريدي، الحركة الدائمة مقابل السكون، الداخلي مقابل الخارجي، النوعية مقابل الكمية، الملتصق

بالثقافة مقابل المبادئ اللازمنية، الكفاح الفكري والتحول الذاتي كشرط دائم للإنسان مقابل الإمكانية و(الرغبة) في السلام وفي النظام وفي التناغم النهائي وفي إشباع كل الرغبات العقلية للإنسان _ هذه بعض من مناحي هذا التباين[١٤].

لقد خصصنا مكانا واسعا للميكانيك الكلاسيكي. وفي الحقيقة في رأينا هذه هي النقطة الأمثل التي منها يمكننا تأمل تحول العلم في اليوم الحاضر. يبدو الميكانيك الكلاسيكي معبِّرا بطريقة واضحة وأخاذة عن المنظور السكوني للطبيعة. هنا يرجع الزمن على ما يبدو إلى معاملparameter ويصبح المستقبل والماضي متعادلين. وإن كان من الصحيح أن نظرية الكم قد أبرزت الكثير من المسائل الجديدة إلا أنها مع ذلك أبقت على عدد من المواقف التصورية conceptual positions للديناميك الكلاسيكي وخاصة في ما يتعلق بالزمن والسيرورة.

منذ بواكير بدايات القرن التاسع عشر وبالضبط عندما كان العلم الكلاسيكي منتصراً، وعندما ساد البرنامج النيوتوني العلم الفرنسي وهذا الأخير ساد أوروبا ظهر أول تحد للبناء النيوتوني. سنتابع في الجزء الثاني من دراستنا تطور علم الحرارة هذا المنافس لعلم ثقالة نيوتن بادئين من أول تحد عندما صاغ فورييه Fourier قانون انتشار الحرارة. ولقد كان ذلك أول توصيف كمي لشيء لا يمكن تخيله في الديناميك الكلاسيكي _ السيرورة اللاعكوسة.

لقد أنجب سليلا علم الحرارة، علم تحول الطاقة وعلم الآلات الحرارية وليدَهما الأول العلم «اللاكلاسيكي» _ الترموديناميك. وأهم مساهمة أصيلة للترموديناميك هي القانون الثاني الشهير الذي أدخل سهم الزمن إلى الفيزياء. وكانت هذه التقدمة في الحقيقة جزءاً من حركة ثقافية أشمل. لقد كان القرن التاسع عشر في الواقع قرن التطور؛ لقد أكدت علوم البيولوجيا والجيولوجيا وعلم الاجتماع على عمليات الصيرورة Processes of becoming وعلى التعقيد

المتزايد. أما بالنسبة للترموديناميك فإنه مبني على التمييز بين نوعين من السيرورات: السيرورات العكوسة وهي مستقلة عن اتجاه الزمن، والسيرورات اللاعكوسة التي تعتمد على اتجاه الزمن. وسنرى أمثلة على ذلك لاحقاً. ولقد أُدخِل مفهوم الأنطروبية للتمييز بين هذين النوعين من السيرورات، حيث أنها أي الأنطروبية تزداد فقط بسبب السيرورات اللاعكوسة.

كانت الحالة النهائية لتطور الترموديناميك في المركز من الدراسات العلمية خلال القرن التاسع عشر. وكان هذا ترموديناميك التوازن. وكان ينظر إلى السيرورات اللاعكوسة باحتقار على أنها مزعجات وتشويشات وموضوعات لا تستحق الدراسة. أما اليوم فالوضع قد تغير تماماً، ونحن نعلم الآن أنه بعيداً عن التوازن يمكن أن تنشأ تلقائياً أنواع جديدة من البنى. في شروط بعيدة عن التوازن يمكن أن يكون لدينا تحول من الفوضى ومن الشواش الحراري إلى النظام. ويمكن أن تنشأ حالات ديناميكية جديدة من المادة، حالات تعكس تفاعل منظومة معينة مع محيطها. ولقد دعونا هذه البنى الجديدة ***بالبنى المبددة*** ***dissipative structures*** لكي نؤكد على الوظيفة البناءة للسيرورات المبددة في تشكيلها.

يصف هذا الكتاب بعضاً من الطرق التي تطورت في السنوات الأخيرة لمعالجة ظهور وتطور البنى المبددة. وهنا نجد الكلمات المفتاحية التي تتكرر في هذا الكتاب كنغمة أساسية: اللاخطية واللااستقرار والتأرجحات. لقد بدأت تتغلغل في منظورنا للطبيعة وحتى في ما وراء حقول الفيزياء والكيمياء.

لقد ذكرنا إشعيا برلين عندما ناقشنا التقابل بين العلوم والإنسانيات. وهو وَضَعَ الخاص والفريد في تضاد مع المتكرر والكلي. والملمح المدهش أننا عندما نتحول من حالات التوازن إلى البعيدة عن التوازن فإننا نتحول بعيدا عن المتكرر والكلي إلى الخاص والفريد. الواضح أن قوانين التوازن هي كلية.

والمادة بالقرب من التوازن تتصرف بطريقة «كرورة» repetitive ومن جانب آخر بعيداً عن التوازن تظهر آليات تتعلق بإمكان حدوث أنواع مختلفة من البنى المبددة. مثلاً بعيداً عن التوازن يمكن أن نشهد ظهور ساعات كيميائية وهي تفاعلات كيميائية تتصرف بطريقة متناغمة وإيقاعية. ويمكن أيضاً أن يكون لدينا سيرورات من التنظيم الذاتي تقود إلى بنى لا متجانسة وإلى بلورات لا متوازنة.

يجب أن نؤكد على الطابع غير المتوقع لهذا السلوك. كل منا لديه فكرة عفوية عن الكيفية التي يحدث فيها أي تفاعل كيميائي؛ إننا نتخيل جزيئات تسبح في الفراغ تصطدم وتعاود الظهور بأشكال جديدة. إننا نشاهد سلوكاً عشوائياً مشابهاً لما وصفه الذريون القدماء عندما تكلموا عن غبار يسبح في الفضاء. أما في الساعة الكيميائية فإن السلوك مختلف تماماً. بتبسيط زائد يمكننا القول أنه في الساعة الكيميائية تُبدّل كل الجزيئات ***معاً*** هويتها الكيميائية في مدد زمنية منتظمة. وإذا كان من الممكن تخيل الجزيئات على أنها زرقاء أو حمراء فإننا سنراها تغير لونها حسب إيقاع تفاعل الساعة الكيميائية.

من الواضح أن وصفاً كهذا لم يعد من الممكن توصيفه بعبارات السلوك العشوائي. فلقد ظهر نوع جديد من النظام. يمكننا التكلم عن تناغم جديد، عن آلية «اتصال» بين الجزيئات. ولكن هذا النوع من الاتصال لا يظهر إلا في حالات بعيدة عن التوازن. ومن الممتع أن نوعاً كهذا من الاتصال يبدو أنه القاعدة في عالم البيولوجيا. ومن الممكن في الحقيقة أن يؤخذ على أنه الأساس في تعريف المنظومة البيولوجية.

بالإضافة إلى ذلك فإن البنية المبددة تعتمد بشكل حرج على الشروط التي يتم فيها تشكيل البنية. فالحقول الخارجية مثل حقل الثقالة الأرضية وكذلك حقل المغناطيسية يمكن أن تلعب دوراً أساسياً في انتقاء آلية التنظيم الذاتي.

بدأنا نرى كيف أنه بدءاً من الكيمياء يمكننا أن نبني بنى معقدة، أشكالاً معقدة يمكن أن يكون البعض منها طلائع الحياة. ما يبدو مؤكداً هو أن هذه الظواهر البعيدة عن التوازن تبين خاصية أساسية وغير متوقعة للمادة: ويمكن للفيزياء الآن أن تصف بنى متلائمة مع الظروف الخارجية. ونحن نواجه في بنى كيميائية ربما بسيطة نوعاً ما آلية تلاؤم ما قبل بيولوجية. وباستعمال لغة نوعاً **ما** شبه بشرية anthropomorphic: المادة «عمياء» في حالات التوازن ولكن في حالات بعيدة عن التوازن فإنها تبدأ بأن تصبح قادرة على الإدراك؛ لأن «تأخذ بالحسبان» في طريقة عملها الفروق في العالم الخارجي (مثل الحقول الضعيفة للثقالة والكهرباء).

بالطبع تبقى مسألة أصل الحياة مسألة صعبة ولا نظن أن هناك حل بسيط في القريب العاجل. ومع ذلك فمن هذا المنظور لم تعد تبدو الحياة معاكسة للقوانين «المعتادة» للفيزياء، جاهدة ضدها لكي تتحاشى نهايتها المعتادة _ دمارها. على العكس تبدو الحياة معبِّرةً بطريقة خاصة عن الظروف ذاتها التي يتموضع فيها محيطنا البيولوجي، محتوياً اللاخطية للتفاعلات الكيميائية والشروط البعيدة عن التوازن التي يفرضها (الإشعاع الشمسي) على محيطنا البيولوجي.

لقد بحثنا في التصورات التي تسمح لنا بتوصيف تشكل البنى المبددة مثل نظرية التفريع. ومن الجدير بالاعتبار أن المنظومات القريبة من التفريع تُظهِر تأرجحات كبيرة. تبدو منظومات كهذه وكأنها «تتردد» بين مختلف اتجاهات التطور الممكنة، وينهار قانون الأعداد الكبيرة في معناه المعتاد. يمكن لتأرجح صغير أن يبدأ تطوراً جديداً تماماً مما يغير جذرياً السلوك العام للمنظومة الجهرية. لا يمكن تحاشي المقارنة مع الظواهر الاجتماعية وحتى مع التاريخ. ونرى الآن وبعيداً عن التعارض بين

«المصادفة» و«الضرورة» المظهريـن كليهما أساسيين في توصيف المنظومات اللاخطية البعيدة عن التوازن.

وهكذا يبحث الجزءان الأولان من هذا الكتاب في منظورين متعارضين للكون الفيزيائي: المنظور السكوني للديناميك الكلاسيكي والمنظور التطوري المصاحب للأنطروبية. وأصبحت المواجهة بين هذين المنظورين مما لا يمكن تحاشيه. فلقد أُجِلت هذه المواجهة لوقت طويل باعتبار اللاعكوسية وهما أو تقريباً؛ لقد كان الإنسان هو من أدخل الزمن في كون لازمني. ومع ذلك فإن هذا الحل الذي أُرجِعتْ فيه اللاعكوسية إلى وهم أو إلى تقريب لم يعد مقبولاً الآن حيث أننا نعلم أن اللاعكوسية يمكن أن تكون منبع النظام والاتساق والتنظيم.

لم يعد بالإمكان تحاشي المواجهة. إنها موضوع الجزء الثالث من هذا الكتاب. سنذكر المحاولات التراثية لمقاربة مسألة اللاعكوسية أولاً في الميكانيك الكلاسيكي ومن ثم في ميكانيك الكم. لقد تمت أعمال رائدة في هذا المجال خاصة من قبل بولتزمن وجيبس. ومع ذلك يمكننا القول أن المسألة تركت عموماً دون حل. وكما يرويها كارل بوبر فإن القصة هي رواية درامية: أولاً ظن بولتزمن أنه قد أعطى صيغة موضوعية لتصور جديد للزمن كما هو متضمن في القانون الثاني. ولكن نتيجة لنقاشه مع زرميلو Zermelo وآخرين اضطر إلى التراجع.

في ضوء التاريخ _أو في عتمة التاريخ _ هزم بولتزمن حسب كل المقاييس المقبولة مع أن الكل يعترف بعلوه الفيزيائي. إلا أنه لم ينجح في إيضاح نظريته (H-theory) وأيضاً لم يشرح زيادة الأنطروبية ... وكان الضغط كبيرا إلى درجة أنه فقد ثقته بنفسه....(١٥)

لا تزال مسألة اللاعكوسية باقية كموضوع نقاش نشط. كيف يمكن هذا بعد مائة وخمسين عاماً على اكتشاف القانون الثاني للترموديناميك؟ هناك مظاهر عدة لهذا السؤال بعضها ثقافي والبعض الآخر تقني. فهناك عامل ثقافي لسوء الظن بالزمن. وسنذكر رأي آينشتاين في عدة مواضع. وحكمه نهائي: الزمن (اللاعكوسي) هو وهم. في الواقع كان آينشتاين يكرر ما كتبه جيوردانو برنو Giordano Bruno في القرن السادس عشر والذي أصبح لقرون عقيدة العلم ودستوره: «هذا الكون واحد لامتناه،غير متحرك ....إنه لا يحرك ذاته محلياً ... إنه لا ينتج ذاته..غير قابل للتحول.. غير قابل للتبدل»(١٦). ولقد سادت رؤية برونو المنظور العلمي للعالم الغربي لزمن طويل. ولهذا فليس من المفاجئ أن اقتحام اللاعكوسية الآتي بصورة أساسية من العلوم الهندسية والكيمياء الفيزيائية قُوبِلَ بالشك وسوء الظن. ولكن هناك أسبابا تقنية بالإضافة إلى الأسباب الثقافية. فإن كل محاولة «لاشتقاق» اللاعكوسية من الديناميك هي بالضرورة محكومة بالفشل لأن اللاعكوسية ليست بالظاهرة الكلية. يمكننا تصور حالات عكوسة تماما مثل نواس في غياب الاحتكاك أو الحركة الكوكبية. وقاد هذا الفشل إلى شعور بالإحباط وإلى إحساس أنه في النهاية كل تصور اللاعكوسية نابع من مصدر ذاتي subjective.سنناقش لاحقاً كل هذه المسائل بشكل مطول. ولنذكر هنا أننا اليوم نعرف أن هناك أصنافا مختلفة من المنظومات الديناميكية. لم يعد العالم متجانسا. ولهذا يمكن وضع السؤال بتعبير آخر: ما هي البنية الخاصة للمنظومات الديناميكية التي تسمح لها "بالتمييز" بين الماضي والمستقبل؟ ما هو أقل تعقيد مُتضمَّن؟

لقد تم تحقيق تقدم حسب هذه الخطوط. ويمكننا الآن أن نكون أكثر دقة حول جذور الزمن في الطبيعة. ولهذا الوضع نتائج بعيدة المدى. لقد أدخل القانون الثاني للترموديناميك والأنطروبية اللاعكوسية إلى العالم الجهري. و يمكننا الآن فهم معنى اللاعكوسية على المستوى الصغري. وكما سنرى يقابل القانون الثاني قاعدة اصطفاء وتقييد restriction على الشروط الابتدائية التي كانت تنتشر حينذاك بقوانين الديناميك. ولهذا فإن القانون الثاني يدخل عنصرا غير قابل للإرجاع في توصيفنا للطبيعة. وبينما هو متوافق مع الديناميك إلا أنه لا يمكن اشتقاقه منه.

لقد أدرك بولتزمن أن الاحتمالات واللاعكوسية يجب أن تربطا معا بشدة. عندما تتصرف منظومة ما بدرجة من العشوائية يمكن حينئذ للاختلاف بين الماضي والمستقبل وبذلك للاعكوسية أن تدخل في توصيفها. ويؤكد تحليلنا على هذه النقطة. ففي الواقع ما معنى سهم الزمن في توصيف حتمي للطبيعة؟ إن سهم الزمن هو مظهر لحقيقة أن المستقبل ليس معطى. إنه كما أكد الشاعر الفرنسي بول فاليري Paul Valery «الزمن هو تركيب»Time is construction(١٧)

تظهر تجربة الحياة اليومية تمييزاً جذرياً بين الزمان والمكان. يمكننا التنقل من نقطة ما إلى أخرى في الفراغ إلا أننا لا يمكننا أن ندير الزمن عكسياً. لا يمكننا أن نبدل الماضي بالمستقبل. وكما سنرى فإن هذا الشعور بالاستحالة قد حصل على معنى علمي دقيق الآن. الحالات المسموح بها هي مفصولة عن الحالات الممنوعة من قبل القانون الثاني للترموديناميك بواسطة حد لانهائي من الأنطروبية. ويوجد هناك حواجز أخرى في الفيزياء. أحدها

هو سرعة الضوء الذي في منظورنا الحالي يحد السرعة التي يمكن للإشارات أن تبث بها. إن وجود هذه الحواجز ضروري وإلا ستنهار السببية.كذلك فحاجز الأنطروبية هو الشرط المسبق لإعطاء معنى للاتصالات. تخيل ما يمكن أن يحدث إذا أصبح مستقبلنا ماض بالنسبة لأناس آخرين! سنعود لهذا لاحقاً.

لقد أكد التطور الحديث للفيزياء على حقيقة الزمن. ففي السيرورة تم الكشف عن مظاهر أخرى للزمن. والاهتمام بالزمن يجري خلال كامل قرننا. لنتذكر آينشتاين وبروست وفرويد وتيار وبيرس ووايتهد.

إحدى أكبر النتائج المفاجئة لنظرية آينشتاين في النسبية الخاصة المنشورة سنة ١٩٠٥ كان إدخال الزمن المحلي المتعلق بكل مراقب. ومع ذلك بقي هذا الزمن المحلي زمناً عكوساً. ومشكلة آينشتاين في كلا نظريتيه الخاصة والعامة كانت في «التواصل» بين مراقبْين، في الطريقة التي يستطيعون فيها مقارنة مددهم الزمنية. ولكن يمكننا الآن البحث في الزمن ضمن أطر تصورية أخرى.

كان الزمان في الميكانيك الكلاسيكي عددا يُوصِّفُ موضع نقطة على مسارها. ولكن يمكن أن يكون للزمن معنى مغايرا على المستوى الشامل. عندما ننظر إلى طفل أو طفلة ونخمن عمره أوعمرها فإن هذا العمر ليس متوضعا في أي جزء خاص من أجزاء البدن. إنه حكم شامل. ولقد ذكرنا كثيرا أن العلم يممكن الزمن (يحوله إلى مكان). ولكننا نكتشف الآن أن هناك منظورا آخر ممكنا. لنأخذ منظراً طبيعياً وتحولاته ؛ إذا تابعنا كلمات الجغرافي ب. بيري B.Berry فلقد انقدنا إلى«زمننة المكان».

ولكن ربما يكون أكبر تقدم قد أنجز هو في أنه يمكننا الآن رؤية مسألة البنية والنظام من منظور مختلف. وكما سنبين في الفصل الثامن ليس هناك من تطور وحيد التوجه الزمني من منظور الديناميك أكان كلاسيكياً أم كمومياً. تبقى «المعلومة» كما يمكن أن تُعَّرف بعبارات الديناميك ثابتة في الزمن، ولقد يبدو هذا مفارقة. فعندما نمزج سائلين فلن يحدث «تطور» بالرغم من أننا لا نستطيع دون استعمال آلة ما خارجية أن نعكس تأثير المزج. بل العكس فقانون الأنطروبية يصف المزج على أنه تطور نحو «الفوضى» disorder، نحو الحالة الأكثر احتمالاً. يمكننا الآن أن نبين أنه ليس هناك من تناقض بين التوصيفين، ولكن للتكلم عن المعلومات أو النظام فإنه يجب علينا أن نعيد تعريف الوحدات التي ندرسها. الحقيقة الجديدة المهمة أنه يمكننا الآن أن نقيم قواعد دقيقة للانتقال من نوع معين من الوحدات إلى أخرى. وبكلمات أخرى لقد قمنا بصياغة صغريه لأنموذج تطوري مُعَّبر عنه بالقانون الثاني. وحيث أن الأنموذج التطوري يشمل كل الكيمياء كما الأجزاء الأساسية من البيولوجيا والعلوم الاجتماعية فإن هذه تبدو لنا نتيجة هامة. هذه الرؤية هي حديثة جداً. إن سيرورة إعادة صياغة التصورات الجارية في الفيزياء هي بعيدة عن أن تكون قد اكتملت. مهما يكن فإن قصدنا ليس أن نلقي الضوء على محصلات العلم النهائية، على نتائجه الثابتة. ما نريد أن نقوم به هو أن نؤكد على الإبداع التصوري للفعالية العلمية وعلى الآمال المستقبلية والمسائل الجديدة التي يبرزها. على كل حال فإننا قد اخترنا أن نقدم الأشياء كما ندركها الآن واعين تماماً كم هي أجوبتنا غير مكتملة.

كتب مرة أروين شرودينغر Erwin Schrodinger لسخط الكثير من فلاسفة العلم:

...هناك ميل لتناسي أن العلم مرتبط بالثقافة الإنسانية على العموم وأن كشوف العلم حتى تلك التي تبدو في هذه اللحظة الأكثر تقدماً وغرابةً ومن الصعب فهمها هي لامعنى لها خارج إطارها الثقافي. إن علماً نظرياً غير شاعر بأن تلك التي من تركيباته المعتبرة مناسبة وخطيرة الشأن، مقدر لها أن تُؤطَّر في تصورات وكلمات والتي لها تأثير في المجتمع المثقف وأن تصبح جزءا وقطعة من صورة العالم العامة _ أقول إن علماً نظرياً يتم فيه تناسي أمر كهذا، وحيث يتابع المختصون البوح بالأسرار بعبارات هي على الأحسن مفهومة من قبل حفنة من المسافرين، سيكون بالضرورة مقطوعاً عن باقي الإنسانية المثقفة؛ وعلى المدى الطويل فإنه سيضمر ويتكلس مهما كانت المحادثة الاسرارية الحادة مستمرة داخل مجموعاته المنعزلة من الأخصائيين[١٨].

إن أهم مواضيع هذا الكتاب هو التفاعل القوي بين المشاكل الخاصة بالثقافة ككل ومشاكل التصورات الداخلية للعلم بشكل خاص. وإننا نجد أسئلة عن الزمن في قلب العالم ذاته. لقد خصص أجيال من الفلاسفة كل حياتهم لأسئلة كهذه _الصيرورة واللاعكوسية. واليوم عندما يتحرك التاريخ _ أكان تاريخ الاقتصاد أم التاريخ السكاني أو السياسي _ بخطوات غير مسبوقة فإن أسئلة واهتمامات جديدة تتطلب منا الدخول في حوارات جديدة للبحث عن اتساق جديد.

مع ذلك فإننا نعلم أن تقدم العلم غالباً ما وصف بعبارات انقطاع rupture وانزياح بعيداً عن التجربة الفعلية نحو مستوى من التجريد أكثر صعوبة على

الإدراك. إننا نعتقد أن هذا النوع من التأويل هو فقط انعكاس على المستوى المعرفي للوضع التاريخي الذي وجد فيه العلم نفسه نتيجة لعدم قدرته لأن يحوي داخل إطاره النظري مساحات واسعة من العلاقة بين الإنسان وبيئته.

لا شك أنه يوجد تطور تجريدي للنظريات العلمية، إلا أن التجديدات التصورية التي كانت حاسمة في تطور العلم ليست من هذا النوع. فلإعادة اكتشاف الزمن جذورٌ في كلا التاريخ الخاص للعلم وفي الإطار الاجتماعي الذي يجد فيه العلم نفسه اليوم. واكتشافاتٌ من مثل الجسيمات الأولية غير المستقرة والكون المتمدد تنتمي بوضوح إلى التاريخ الداخلي للعلم. ولكن الاهتمام العام بحالات اللاتوازن وبالمنظومات المتطورة ربما يعكس شعورنا أن الإنسانية عموماً هي اليوم في فترة تحول. إن الكثير من النتائج التي سنذكرها في الفصلين الخامس والسادس مثلا حول التفاعلات الكيميائية المهتزة oscilllating كان من الممكن أن تكتشف منذ سنوات ماضية ولكن دراسة هذه المسائل للاتوازن كانت تقمع في الإطار الثقافي والمنطق الإيديولوجي لتلك الأيام.

إننا ندرك أن التأكيد على قابلية تقبل المحتوى الثقافي يجري عكس التصور التراثي للعلم. يتطور العلم في هذا المنظور بتحرير ذاته من الأشكال القديمة [الخارج الموضة] لفهم الطبيعة؛ إنه يتطهر بعملية يمكن مقارنتها «برهبانية» عقلية. ولكن هذا يقود بدوره إلى أن العلم يجب أن يمارس من قبل طوائف تعيش منفصلة ولا علاقة لها بالأمور الدنيوية. من هذا المنظور فإن الطائفة العلمية الأمثل يجب أن تصان من ضغوط وحاجات ومتطلبات المجتمع. يجب أن يكون التقدم العلمي أساسا عملية مستقلة ولا تخضع لأي مؤثر« خارجي» من مثل مشاركة العلماء في

فعاليات ثقافية أو اجتماعية أو اقتصادية الذي يمكن فقط أن يدخل الاضطراب ويؤخر. هذا المثل الأعلى في التجريد وفي إنعزال العلماء يجد رديفا في مثل أعلى آخر، وهذا يتعلق بمهنة الباحث "الحقيقي"، برغبته بالهرب من التقلبات الدنيوية. يصف آينشتاين نوع العالم الذي يرضى عنه «ملاك الرب» فيما إذا أعطي للأخير مهمة طرد من «هيكل العلم» كل أولئك «غير الجديرين» _ ولم يذكر من أية وجهة. هم عموماً:

...على الأغلب أشخاص شواذ، كتومون ومنعزلون وهم بالرغم من هذه الصفات المشتركة فإن أي واحد منهم أقل شبها بالآخر من مجموع أولئك المنفيين.

ما الذي قادهم إلى الهيكل؟ ...أحد أهم البواعث التي تقود الإنسان إلى الفن والعلم هو الهرب من الحياة اليومية بقسوتها المؤلمة وتعاستها المظلمة، ومن قيود رغباته المتقلبة. يُدفَعُ الإنسان المرهف الإحساس للهرب من الوجود الشخصي إلى عالم الملاحظة والإدراك الموضوعيين. يمكن مقارنة هذا الدافع بالشوق الذي يدفع بساكن المدينة بعيدا عن ضوضاء ازدحام السكن إلى الجبال العالية الهادئة حيث يتجول النظر حرا خلال الهواء العليل الساكن ويلاحق المعالم التي تبدو وكأنها خلقت للأبد.

يترافق هذا الدافع السلبي مع آخر إيجابي _ فالإنسان يبحث لكي يكون لنفسه بأية طريقة مناسبة صورة مبسطة وواضحة للعالم Bild de Welt وهكذا لكي يتغلب على عالم التجربة بالكفاح لاستبداله إلى حد ما بهذه الصورة[١٩].

إن عدم التوافق ما بين الجمال النسكي الذي يبحث عنه العلم من جهة ودوامة الحياة الحقيرة للتجربة الدنيوية التي شعر بها آينشتاين بحدة

من جهة أخرى يمكن أن تدعَّم بعدم توافق آخر وهو الانشقاق الثنائي الماني (Manichean)(•) المفتوح بين العلم والمجتمع أو بشكل أدق بين الإبداع الإنساني الحر والقوة السياسية. وفي هذه الحالة فليس في طائفة منعزلة أو هيكل يجب البحث بل في قلعة أو بالأحرى في بيت مجانين كما تخيل دورينمات Duerrenmatt في مسرحيته ***الفيزيائيون*** ***The Physicists***[٢٠]. هناك يناقش ثلاثة فيزيائين الوسائل والطرق في تقدم الفيزياء مع حماية الإنسانية من النتائج المفجعة لهذا التقدم حينما تستولي السلطات السياسية على هذا النتاج. والنتيجة التي يتوصلون إليها هي أن الوسيلة الوحيدة هي في الطريقة التي اختارها أحدهم سابقا وهي أن يتظاهروا جميعا بالجنون وأن يختبئوا في مشفى مجانين. وفي نهاية المسرحية وكما يقرره القدر يتم اكتشاف أن هذا المشفى وهمي. فمدير المشفى الذي كان يتجسس على مرضاها يسرق النتائج ويستولي على العالم.

تقود مسرحية دورينمات إلى تصور ثالث للفعالية العلمية: يتقدم العلم بإرجاع تعقيد الواقع إلى بساطة خبيئة. ما يحاول الفيزيائي موبيوس أن يخفيه في مشفى المجانين هو أنه قد حل بنجاح مسألة الثقالة والنظرية الموحدة للجسيمات الأولية وبالنهاية مبدأ الكشف الكلي منبع القدرة المطلقة. يُبَسِّط بالطبع دورينمات الأمور ليؤكد رأيه. ومع ذلك فإن الرأي الشائع أن ما يُبحَثُ عنه في «هيكل العلم» لا أقل من «صيغة» الكون. ورجل العلم الذي كان يصور على أنه راهب يصبح الآن نوعاً من

(•) نسبة إلى ماني وهو الذي دعى إلى وجود الهين أحدهما اله الخير و الآخر إله الشر . وهما في نزاع دائم . ظهر في ايران القديمة .

السحرة، رجل من نوع خاص، حامل مفتاح كلي لكل الظواهر الفيزيائية، وهكذا فهو موهوب بإمكانية معرفة كلية القدرة. وهذا يعيدنا إلى مسألة قد ذكرناها سابقاً وهي: أنه في عالم بسيط (وخاصة في عالم العلم الكلاسيكي حيث يخفي التعقيد بساطة أساسية) يمكن أن يوجد شكل من المعرفة يقدم مفتاحاً عمومياً.

إن أحد مسائل عصرنا هي التغلب على التوجهات التي تحاول تبرير وتدعيم عزلة المجتمع العلمي. يجب أن نفتح قنوات اتصال جديدة بين العلم والمجتمع. كلنا يعلم أن الإنسان يغير بيئته الطبيعية على مقياس غير مسبوق. وكما يعبر عن ذلك سيرج موسكوفيشي Serge Moscovici «إنه يخلق طبيعة جديدة»[٢١]. ولكن لفهم هذا العالم المصنوع من الإنسان فإننا لا نحتاج فقط إلى أداة خاضعة للاهتمامات الخارجية ولا إلى ورم سرطاني ينمو بلا مسؤولية على جسم المجتمع.

لقد كتب تشوانغ تسو[•] Chuang Tsu:

كم تدور الأفلاك (دون توقف) ! وكم تبقى الأرض ساكنة (دوما) ! هل تتنافس الشمس مع القمر على مواضعهما الخاصة؟ هل هناك أحد ما يسود ويوجه هذه الأشياء؟ من يربطها ويصلها معاً؟ من يسببها ويحفظها دون جهد أو كلل؟ أو هل هناك آلية ما خفية يكون من نتيجتها أن هذه الأشياء لا يمكن أن تكون إلا كما هي؟ [٢٢]

إننا نعتقد أننا نسير نحو مُرَكّبٍ جديد وإلى مذهب طبيعي جديد. ربما سنستطيع أن نراكب التراث الغربي بتأكيده على التجريب

(•) تشوانغ تسو : الحكيم الثاني في الصين من مقاطعة منغ عاش زمن الأمير واي (٣٢٧ق.م.) هاجم الكونفوشيوسية اقواله مأخوذة من لاو تسو ولكنه أوسع أفقا . المترجم

والصياغات الكمية مع تراث مثلا كالتراث الصيني الذي يرى من منظوره العالم على أنه عفوي وذاتي التنظيم. في بدء هذه المقدمة ذكرنا جاك مونو. وكانت النتيجة التي توصل إليها: «لقد تم تحطيم الحلف القديم؛ وعرف الإنسان أنه وحيد في رحابة كون لا مبالٍ والتي ظهر منه بالمصادفة فقط»(٢٣). ربما كان مونو محقاً فلقد تحطم الحلف القديم. وليس من مهامنا البكاء على الماضي، بل محاولة اكتشاف في وسط التنوع المدهش للعلوم خيطاً ما موحداً. لقد قادت كل فترة كبيرة من العلم إلى نموذج ما للطبيعة. فبالنسبة للعلم الكلاسيكي كانت الساعة ذلك النموذج؛ وفي القرن التاسع عشر عصر الثورة الصناعية كان ذلك النموذج المحرك المتباطئ. ما الذي سيكون رمزنا نحن؟

ما نفكر به ربما يعبر عنه بشكل أفضل بالرجوع إلى النحت من العصر الهندي أو ما قبل الكولومبي إلى الآن. ففي أحد أروع مظاهر النحت، أكانت في شيفا الراقص DancingShive(•) أم في الهياكل في غويرورو Guerrero(•) يظهر بوضوح البحث عن تلاحم بين السكون والحركة. الزمن المتوقف والزمن الساري وإننا نعتقد أن هذه المواجهة ستعطي عصرنا فرادته.

(•) شيفا : ثالث إله هندي إله الطبيعة المدمرة ، يمصثل دوما راقصا وممسكا بيديه القوى الطبيعية .

(•) غويرورو : أحد ولايات المكسيك تقع على المحيط و إلى الجنوب من المكسيك .المترجم.

الكتاب الأول

وهم العمومية



الفصل الأول

انتصار العقل

موسى الجديد

الطبيعة وقوانينها كانت مختبئة في ليل بهيم

قال الله، ليكن هناك نيوتن ! وأصبح كل شيء ضوءاً.

الكسندر بوب

(مشروع شاهدة لإسحاق نيوتن المتوفى في ١٧٢٧)

لا يجب أن تدهشنا النغمة المنمّقة لبوب. نيوتن في نظر إنكلترا القرن الثامن عشر، هو «موسى الجديد» الذي أُظهِرت له «لوائح القانون». ولقد تنافس شعراء ومعماريون ونحاتون وفنانون آخرون حول مشاريع نصب تذكارية؛ وتجمعت أمة لتحي الحدث: لقد اكتشف إنسانٌ اللغة التي تتكلمها الطبيعة والتي تخضع لها:

«مرغمة تخضع الطبيعة لعقله النفّاذ،

وبسرور تكشف له كل طرقها الخفية؛

أمام الرياضيات ليس لديها أي دفاع،

وتخضع للعقلانية التجريبية»[١]

ولقد وجدتْ الأخلاقُ والسياسةُ في الحدث النيوتوني مادة "لتأسيس" حِجَجها. وهكذا فإن المحترم ديساكليه (Desaguliers) فسّر المعنى الحرفي للنظام الطبيعي الجديد في «روح القوانين» بدرس في السياسة: الملكية الدستورية هي أفضل أنظمة الحكم الممكنة، حيث أن الملك،كما هي الشمس، يملك سلطة محدودة بها.

«مثل وزراءٍ يلحظون كل التفاتة
تدور ستة عوالم حول عرشه في رقصة صوفية.
هو يغير حركتهم من مجاله الموارب
ويحني مداراتهم بقوة الجذب؛
قدرته محكومة بالقوانين، مع ذلك تتركهم أحراراً،
توجّه، لكنها لا تدمّر حريتهم.»[٢]

ونيوتن ذاته، ومع أنه لم يغامر في مجال العلوم الأخلاقية، لم يخامره التردد بشأن الطبيعة الشمولية للقوانين التي عرضها في كتابه *المبادئ* ***Prinicpia*** الطبيعة «متسقة ومتجانسة جداً مع ذاتها» كما يؤكد في السؤال الشهير رقم ٣١ من *كتاب الضوء* ***Opticks***، وهذا الإقرار الإضماري يواري ادعاءً شمولياً: احتراق، تخمر، حرارة، تلاحم، مغنطيسية، ... ليس هناك من سيرورة طبيعية ليست ناتجة عن هذه القوى الفاعلة – التجاذب والتنافر – والتي تحكم كلاً من حركة النجوم وسقوط الأجسام.

إن نيوتن الذي غدا بطلاً قومياً حتى قبل وفاته، سيصبح بعد حوالي قرن من الزمن، وخاصة بالتأثير القوي لمدرسة لابلاس، رمزاً للثورة العلمية الأوربية. لقد مسح الفلكيون سماءاً محكومة بالرياضيات. تغلب النظام النيوتوني على كل العقبات، وأكثر من ذلك، فتح الباب لطرق رياضية يمكن بواسطتها

الأخذ بعين الاعتبار الانحرافات الظاهرة، وحتى استخدامها لاستنتاج وجود جسم سماوي غير معروف حتى ذلك الوقت. وهكذا كان التنبؤ بوجود كوكب نبتون تكريساً للقوة التنبؤية المتأصلّة في الرؤية النيوتونية.

في فجر القرن التاسع عشر، كان اسم نيوتن يميل إلى تمثيل أي شيء يُزعَم أنه قدوة. إلا أن تأويلات متضاربة قدمت لتفسير منهجه. رأى البعض فيه قبل كل شيء مخططاً للتجارب الكمّية التي يمكن التعبير عنها رياضياً (التي يمكن ترييضها). بالنسبة لهم للكيمياء نيوتونها: لافوازييه، الذي كان رائداً في الاستعمال المنهجي للميزان، وكان هذا في الواقع خطوة حاسمة في تعريف الكيمياء الكمية التي اتخذت من مبدأ انحفاظ المادة «خيط آريان[*] الخاص بها (دليلاً لها).بالنسبة لآخرين، تتكون الاستراتيجية النيوتونية بعزل واقعة مركزية معينة، ومن ثم استخدامها كأساس لجميع الاستنتاجات التالية المتعلقة بمجموعة معطاة من الظواهر. ومن هذا المنظور فإن عبقرية نيوتن هي في ذرائعيته[*]. فهو لم يحاول شرح قوة الثقالة؛ لقد اعتبرها واقعة. وبشكلٍ مماثل، على كل فرع من فروع المعرفة أن يأخذ واقعةً مركزية غير مفسرّة كنقطة انطلاق له. وهكذا ظن بعض الأطباء أن نيوتن يعطيهم الحق لأن يعيدوا تصورهم الحيوي وأن يتكلموا عن***قوة حيوية***»[**]، التي سيعطي استخدامها لتوصيف الظواهر الحية اتساقاً منهجياً طالما أُمل به. وهذا هو نفس الدور الذي طلب من الألفة[***] الكيميائية، مأخوذةً باعتبارها القوة الكيميائية الخاصة للتفاعل، أن تلعبه.

(*) خيط أريان هو خيط استخدمه البطل الاغريقي للنجاة من المتاهة التي دخلها ، حيث كام يمكنه من الرجوع إلى نقطة الانطلاق .

(*) pragmatism

(**) force vital: sui generis

(***) affinity

بعض «النيوتونين الحقيقين» استثنوا هذا التكاثر للقوى وأكدوا على عمومية القوة التفسيرية للثقالة. ولكنّ الوقت قد فات، وأصبح مصطلح *نيوتوني* يطبق على كل ما يتعلق بمنظومة القوانين، وبالتوازن، أو حتى بكل المواقف حيث يمكن للنظام الطبيعي من جهة، والنظام الأخلاقي، والاجتماعي والسياسي من جهة أخرى أن يعَّبر عنها بعبارات شاملة متسقة. وقد اكتشف الفلاسفة الرومانطيقيون في العالم النيوتوني كوناً مدهشاً، مُحركاً من قبل قوى مختلفة. بينما يجد فيه الفيزيائيون الأكثر «محافظة» (Orthodox) عالَماً ميكانيكياً محكوماً بالرياضيات. أما بالنسبة للوضعيين فقد عنى نجاح منهج وتركيبة تتماهى مع تعريف العلم ذاته[٣].

الباقي هو أدب – وعلى الغالب أدب نيوتوني: التناغم الذي يحكم في مجتمع النجوم، التنافر والتآلف الانتقائيين اللذين ينتجا «حياة اجتماعية» للمركبات الكيميائية، كل هذه الصيرورات تُرى كسيرورات يمكن نقلها إلى المجتمع الإنساني. ولهذا فليس من الغريب أن تبدو هذه الفترة وكأنها العصر الذهبي للعلم الكلاسيكي.

وحتى اليوم لا يزال يحتل العلم النيويوني مكاناً فريداً. وتمثل بعض التصورات الأساسية التي أدخلها حصيلة نهائية استمرت خلال كل الطفرات التي مر بها العلم. إن العصر الذهبي للعلم الكلاسيكي هو كما نعلم قد مضى ومضى معه أيضاً الاعتقاد بأن العقلانية النيوتونية حتى بتأويلاتها المتصارعة المختلفة تشكل أساساً ملائماً لحوارنا مع الطبيعة.

أحد المواضيع الأساسية في هذا الكتاب هو انتصار النيوتونية، هو الانفتاح لحقول جديدة للبحث التي نشرت الفكر النيوتوني وحتى أيامنا الحاضرة. ولكنه يعالج أيضاً الشكوك والصراعات التي نشأت عن هذا الانتصار. واليوم بدأنا نرى بوضوح أكثر حدود العقلانية النيوتونية.وبدأ يظهر تصور أكثر اتساقاً للعلم وللطبيعة. وهذا التصور الجديد يُعبِّد الطريق لوحدة جديدة للمعرفة والثقافة.

عالم لا إنساني

«... ليحفظنا الله

من الرؤية الوحيدة ومن نوم نيوتن !»

وليام بليك

(من رسالة لتوماس بتس ٢٢ نوفمبر ١٨٠٢)

لا يوجد ما هو أكثر تمثيلاً لاستقرار الموقع الثقافي للعلم النيوتوني من المقدمة إلى حلقة في اجتماع لليونسكو حول العلاقة بين العلم والثقافة:

لأكثر من قرن فإن نمو قطاع النشاط العلمي داخل الفضاء الثقافي المحيط أصبح من الحجم بحيث يكاد يطغى على مجمل الثقافة ذاتها. يعتقد البعض أن هذا ليس إلا وهماً ناتجاً عن سرعة نموه وأن خطوط القوة لهذه الثقافة ستؤكد مجدداً نفسها وستعيد العلم إلى موقعه في خدمة الإنسان. ويعتبر آخرون أن النجاح الأخير للعلم يؤهله أخيراً لأن يسيطر على مجمل الثقافة التي بالإضافة إلى ذلك لم تستحق أن تعرف إلا بفضل نشرها من خلال الجهاز العلمي. وآخرون أيضا خائفون من خطر وقوع الإنسان والمجتمع تحت سطوة العلم وتحكمه، يرون شبح كارثة ثقافية تبدو من بعيد[٤].

يظهر العلم في هذا النص كجسم غريب داخل الثقافة، جسم يهدد نموه السرطاني بتهديم كامل الحياة الثقافية.والسؤال هو فيما إذا كنا نستطيع السيطرة على العلم والتحكم بتطوره، أو فيما إذا كنا سنستعبد. في حوالي مائة وخمسون سنة تحول العلم من منبع وحي إلى منبع تهديد. وليس فقط كتهديد للحياة المادية للبشر، ولكن بطريقة مخاتلة، كتهديد للمعارف والتقاليد والتجارب الأكثر رسوخا في حياتنا الثقافية. المتهم ليس هذا التطبيق التقني أو ذاك لنتيجة علمية، ولكن المتهم هو «روح العلم» ذاته.

أن يكون الاتهام يشير إلى شكٍ شاملٍ أفرزته الثقافة العلمية أو إلى نتائج معينة لبعض النظريات العلمية فإن التأكيد السائد الآن: أن العلم يُحقِّر عالمنا. ما كان لأجيال مصدراً للفرح والدهشة ينضب باقترابه. كل ما يلمسه يصبح لاإنسانياً.

هذا الأثر المفترض للتقدم العلمي هذه الإزالة للسحر التي جلبها التقدم العلمي، ليسا موضوعاً مدعوماً فقط من الكثيرين الذين ينتقدون العلم، ولكن أيضاً من أولئك الذين يدافعون عنه أو الذين يعظمونه، وهكذا كتب المؤرخ جيليسبي C.C.Gillispie في كتابه ***حد الموضوعية*** *The Edge of Objectivity* معبراً عن تعاطفه مع أولئك الذين ينتقدون العلم ويحاولون دوما أن يثلموا «الحد القاطع للموضوعية»:

في الواقع إن تجديد المقترب الذاتي للطبيعة هو موضوع بائس. وبقاياه ترقد ملقاة كنوايا طيبة على طول الطريق التي قطعها العلم، ولاتبقىحية إلا في زوايا غريبة مثلا في الليزنكويسم* Lysenkoism وفي إسقاط الأنسنة على الطبيعة Anthroposophy، حيث تصبح الطبيعة اجتماعية أو أخلاقية. إن هؤلاء الناجون هم بقايا المحاولة الدائمة للهروب من نتائج أخص وأنجح معركة للإنسان الغربي، التي قدرها الانتصار. وهكذا مثل أي اندفاع في وجه المحتوم، فلقد حرَّضت الفلسفة الطبيعية الرومانطيكية كل الفروق الدقيقة في الحالة النفسية من اليأس وحتى البطولة. وفي أسوأ مظاهرها فهي عداء عاطفي أو عداء دنيء للإدراك. وفي أعلى مراتبها، فإنها أوحت بعلم ديدرو الطبيعي والأخلاقي وبتشخيص غوته Goethe للطبيعة، وبأشعار وردزورث Wordsworth وبفلسفة الفرد نورث وايتهد Alfred North Whitehead، أو لدى أي أحد آخر يجد مكانا في العلم

(*) نسبة إلى ليزنكو وهو عالم زراعة وبيولوجية سوفياتي فرض آراء خاطئة عن توارث الصفات المكتسبة وكان له تأثير سيء على العلم البيولوجي الروسي ثم طواه النسيان . المترجم

للتقيم النوعي والجمالي للطبيعة. إنه علم الذين يصنعون من البراعم علم نبات ومن الغروب علم مناخ(٥).

وبهذا يصل التطور العلمي إلى خيار مأساوي ميتافيزيكي. هل يجب على «الإنسان» الاختيار بين الإغراء المطمئن ولكن اللاعقلاني في البحث في الطبيعة عن ضمان للقيم البشرية، أو عن مظاهر انتماء أصلي، وأمانة لعقلانية تدعه وحيداً في عالم صامت وغبي.

وهناك أصداء للحنٍ أساسي آخر -السيطرة- موضوع آخر يندمج بأصدائه بتلك التي تزيل سحر العالم. العالم الذي أذيل سحره هو في الوقت ذاته عالم مطواع. إن أي علم يتصور العالم على أنه خاضع لمخطط نظري شامل والذي يخضع ثرواته المختلفة للتطبيقات الكئيبة للقوانين العامة، يصبح بذلك أداة تحكم وسيطرة. الإنسان الغريب عن العالم يفرض نفسه على أنه سيد هذا العالم.

لقد أخذت إزالة سحر العالم هذه أشكالا كثيرة في العقود الأخيرة. وإن الدراسة المنهجية للأشكال المختلفة للعداء للعلم هي خارج أهداف هذا الكتاب. سنقدم في الفصل الثالث، بتفصيل أكثر، رد فعل التفكير الغربي على النجاح المدهش للعقلانية النيوتونية. لنلاحظ هنا فقط أن هناك في الوقت الحاضر انزياح في المواقف الشعبية من الطبيعة مرتبط باعتقاد شائع ولكنه مع ذلك باعتقادنا خاطئ أن هناك عداءً أساسياً بين العلم و" النزعة الطبيعية".إخترنا ثلاثة أمثلة تبين على الأقل بعض الأشكال التي أخذتها الانتقادات المعادية للعلم في السنوات الأخيرة.فهناك أولاً هايدغر Heidegger الذي تؤثر فلسفته عميقاً في الفكر المعاصر. ثم سنشير أيضاً إلى انتقادات آرثر كوستلر Arthur Koestler ومن بعده لمؤرخ العلم الكبير الكسندر كويريه Alexandre Koyre.

يُوجِّه مارتن هايدغر انتقاداته إلى قلب المشروع العلمي ذاته، والذي يرى أنه مرتبطٌ أساساً بهدف ثابت، هو السيطرة على الطبيعة. ولهذا فهو يرى أن العقلانية العلمية هي التحقق النهائي لشيء كان موجوداً ضمنياً منذ اليونان القديمة، وهو إرادة السيطرة، والتي تعمل في أي نقاش أو مشروع عقلاني، ويلمح العنف خلف كل معرفة موجبة وقابلة للنقل. ويؤكد هايدغر على ما يدعوه «لتأطير»[*] (Gestell) [٦] التقني والعلمي والذي يقود إلى التشغيل العام للعالم والبشر.

وهكذا فإن هايدغر لا يقدم تحليلاً مفصلاً لأية سيرورة أو ناتج علمي أو تقني. إن ما يناقشه هو ماهية التقنية ذاتها، الطريقة التي يتم بها *اعتبار أي شيء*. وكل نظرية هي جزء من تحقيق الخطة الأساسية التي تكوِّن التاريخ الغربي. إن ما ندعوه «بنظرية» علمية تتضمن حسب هايدغر طريقة في استجواب الأشياء تحيلها إلى عبودية. إن العالِم كما التقني هما لعبة في أيدي إرادة القوة المقنَّعة على أنها عطش للمعرفة؛ إن مجرد اقترابه من الأشياء يخضعها لعنف ممنهج.

الفيزياء الحديثة ليست فيزياء تجريبية لأنها تستعمل أجهزة في استنطاق الطبيعة. ربما العكس هو الصحيح. لأن الفيزياء، التي هي نظرية بحتة، تتطلب من الطبيعة أن تظهر نفسها بحدود قوى متوقعة، وهي تضع التجارب بالضبط للهدف الوحيد للسؤال فيما إذا كانت وكيف تتبع الطبيعة الخطة المسبقة التصميم من قبل العلم [٧]

ومشابه لهذا فإن هايدغر لا يهتم فيما إذا كان التلوث الصناعي مثلاً قد دمر كل حياة حيوانية في منطقة الراين. ما يهمه هو أن النهر ذاته قد سخر لخدمة الإنسان:

(*) framing

«وضعت المحطة الكهربائية في مجرى الراين. إنها تجبره أن يقدم ضغطه الهيدروليكي، الذي يجبر التوربينات على الدوران ... المحطة لم تبن في مجرى الراين مثل الجسر العتيق من الخشب الذي منذ قرون يصل الضفة بالضفة. إنه بالأحرى المجرى الذي سُدَّ بالمحطة. ما هو الآن إلا مجرى مُقدِّمٌ للضغط الهيدروليكي، إنه هذا بطريقة كينونة المحطة[٨]».

إن قيمة الجسر العتيق على الراينِ ليست في البرهان على الإمكانية المجربة للصبر والملاحظة الدقيقة، ولكن في أنه لا «يستعمل» النهر.

إن انتقادات هايدغر مُعتبِرة المثل الأعلى لمعرفة إيجابية وقابلة للنقل على أنها تهديد، هي صدى لبعض موضوعات الحركة المضادة للعلم التي ذكرناها في المقدمة. ولكن فكرة صلة غير قابلة للفصل بين العلم وبين إرادة السيطرة هي أيضا تتخلل على ما يظهر تقديرات مختلفة لوضعنا الحالي. فمثلا تحت العنوان الكثير الإيحاء «حلول العصر الذهبي»[٩]، يذكر غونتر ستنت Gunther Stent أن العلم الآن يصل إلى آخر حدوده. وأننا اقتربنا من النقطة حيث تتناقص العوائد، حيث الأسئلة التي نوجهها إلى الأشياء للسيطرة عليها تصبح أكثر فأكثر تعقيداً وخالية من الأهمية. ويؤشرهذا لنهاية التقدم، ولكنها فرصة للإنسانية كي توقف جهودها الحثيثة، ولكي تنهي الصراع القديم مع الطبيعة، وأن تقبل بسلام مريح وساكن.وإننا نريد أن نبين أن التمييز النسبي بين المعرفة العلمية بشيء وإمكانية السيطرة عليه، بعيداً عن أن تكون نهاية العلم، تشير إلى مجموعة من وجهات النظر والمسائل الجديدة.إن فهم العالم المحيط بنا هو في بدايته. لا تزال هناك فكرة أخرى في العلم والتي نشعر أنها أيضاً يمكن أن تكون مؤذية، وهي الإعجاب بعلم غامض والذي سيقود بِطُرقٍ

في التفكير ليست في متناول البشر العاديين، إلى نتائج والتي بضربة واحدة ستتحدى معنى التصورات الأساسية مثل الزمن والفضاء والسببية العقل والمادة. هذا النوع من "العلم الإسراري" الذي تُصوَّر نتائجه على أنها قادرة على تحطيم أي إطار لتصور تراثي، قد تم في الواقع تشجيعه «بإلهامات» (جمع إلهام) النسبية وميكانيك الكم. إنه من الصحيح بالتأكيد أن بعضاً من أكثر الخطوات تخيلاً في الماضي، مثلاً تأويل آينشتاين للثقالة على أنها انحناء للمكان أو أضداد الجسيمات لديراك قد هزت بعضاً من التصورات التي كانت تبدو راسخة. ولكن هناك توازن عالي الدقة بين الاستعداد لتخيل أن العلم يمكن أن ينتج أي شيء ونوعٍ من الواقعية الملتصقة بالأرض. واليوم فإن التوازن يميل بقوة نحو إعادة إحياء الصوفية، أكان ذلك في أوساط الجرائد أم بين علماء الكونيات(١٠). ولقد اقترح بعض الفيزيائيين وكتاب العلم الشعبي أن هناك علاقة خفية بين البارا بسيكولوجي وفيزياء الكم. لنقتبس من كوستلر:

لقد سمعنا جوقة من الفيزيائيين الحائزين على جوائز نوبل يخبروننا أن المادة قد ماتت وأن السببية قد ماتت وأن الحتمية قد ماتت. إذا كان الأمر كذلك فلنقم لها جنازة ملائمة مع موسيقى جنائزية إلكترونية. لقد آن الأوان لأن نستخلص الدرس من علم ما بعد ميكانيك القرن العشرين وأن نخرج من سترة المجانين التي فرضتها مادية القرن التاسع عشر على منظورنا الفلسفي. وللمفارقة لو أن ذلك المنظور عايش العلم الحديث بدل أن يتخلف عنه بقرن من الزمن فإننا كنا سنتحرر من سترة المجانين هذه منذ زمن بعيد...ولكن متى تم الاعتراف بذلك فربما سنصبح أكثر تقبلاً للظواهر المحيطة بنا والتي جعلنا التأكيد المتحيز للعلم الفيزيائي نتجاهلها؛ ربما نشعر

بالتيار الذي ينفخ من خلال شقوق بناء السببية، ونهتم أكثر بالحوادث المترافقة وأن نحتوي الظواهر غير الاعتيادية في تصورنا لما هو معتاد؛ وأن نتحقق أننا كنا نعيش في «بلد العميان»(١١)

لا نريد أن نحكم وأن ندين مسبقاً. ربما يكون في بعض الاقتراحات الغريبة التي نسمعها الآن بعض بذور معرفة جديدة. إلا أننا نعتقد أن القفز إلى اللامتخيل هو هروب أبسط كثيراً من التعقيد الفعلي لعالمنا. إننا لا نعتقد أننا سنغادر «بلد العميان» يوماً ما، حيث أن العمى التصوري ليس هو السبب الأساسي للمشاكل والتناقضات التي فشل مجتمعنا في حلها.

إن عدم موافقتنا على بعض انتقادات أو تحريفات العلم لا تعني أننا نريد أن نرفض كل انتقاد. لنأخذ مثلا موقف كويريه (Koyre) الذي قدم مساهمات مهمة لفهم تطور العلم الحديث. وفي دراسة لمغذى ونتائج التركيب النيوتوني كتب يقول:

إلا أن هناك شيئاً نيوتن – أو بالأحرى ليس نيوتن وحده ولكن العلم الحديث بمجمله يمكن أن يكون مسؤولاً عنه: وهو قسْم عالمنا إلى جزأين. لقد قلت أن العلم أزال الحواجز التي فصلت بين السماوات والأرض وأنه وحد وجمع العالم. وهذا صحيح ولكن كما قلت أيضاً فإنه قام بهذا باستبدال عالمنا ذي الكيفية والإدراك الحسي، العالم الذي نعيش فيه ونحب ونموت بعالم آخر – عالم الكمية، عالم الهندسة المجسمة عالم يوجد فيه مكان لكل شيء ولا يوجد فيه مكان للإنسان. وهكذا أصبح عالم العلم – العالم الفعلي – غريباً ومفصولاً تماماً عن عالم الحياة الذي لم يستطع العلم أن يشرحه – حتى بواسطة شرح يتخلص منه بجعله مظهراً «ذاتياً».

من الصحيح أن هذه العوالم هي العوالم الاعتيادية– وهي حتى تزداد أكثر فأكثر – ارتباطاً *بالممارسة*. ومع ذلك *فنظرياً* هي مفصولة بهاوية.

هناك عالمان: هذا يعني حقيقتان. أو لا حقيقة على الإطلاق. وهذه مأساة العقل الحديث الذي «حل أحجية الكون»، ولكن ليبدلها بأحجية أخرى: أحجيته هو نفسه [١٢]

إننا نسمع في نتائج كويرية ترداد نفس الموضوع الذي عبر عنه باسكال ومونو (Monod) – هذا الشعور بالاغتراب. إن انتقاد كويرية لا يتحدى التفكير العلمي ولكن العلـم الكلاسـيكي القائم على المنظور النيوتوني. ليس علينا أن نكون أمام معضلة الاختيار بين علم يُرجِعُ الإنسـانَ إلى غريب في عالـم فقد سحره وبين اعتراضات لاعقلانية ومعادية للعلم. إن انتقادات كويرية لا تستدعي حدود عقلانية «سترة مجانين» ولكن فقط عدم قدرة العلم الكلاسيكي على أن يتعامل مع بعض المظاهر الأساسية للعالم الذي نعيش فيه.

إن موقفنا في هذا الكتاب هو أن العلم كما يصفه كويرية لم يعد علمنا. ليس لأننا اليوم نهتم بأشياء جديدة غير متخيلة أقرب إلى السحر منها إلى المنطق، ولكن لأننا كعلماء بدأنا نتلمس طريقنا نحو السيرورات المعقدة التي تشكل العالم الذي نحن معتادون عليه، العالم الطبيعي حيث تتطور الكائنات الحية ومجتمعاتها، وفي الواقع بدأنا نتجاوز اليوم ما دعاه كويرية «عالم الكمية» إلى عالم «الكيفيات» وهكذا نحو «الصيرورة» (Becoming). وهذا سيكون الموضوع الأساسي للكتابين الأول والثاني وإننا نعتقد أن هذا الانتقال إلى توصيف جديد هو الذي يجعل هذه اللحظة في تاريخ العلم بهذه الإثارة. وربما لا يكون من المبالغة القول إنها فترة مثل فترة الذريين اليونان أو عصر النهضة : فترات ولدت فيها منظورات جديدة للطبيعة. ولكن لنرجع أولا إلى العلم النيوتوني، وهو بالتأكيد أحد أهم لحظات تاريخ الإنسانية.

التركيب النيوتوني

الاعتقاد الذي كان خلْف حماس معاصري نيوتن هو أن سر الكون وأن حقيقة الطبيعة قد كُشِفَتا أخيراً؟ هناك عدة خطوط من الفكر ربما كانت متواجدة منذ بدء البشرية تتجمع في التركيب النيويوني:العلم قبل كل شيء هو طريقة في العمل على بيئتنا. وفي الحقيقة فإن العلم النيوتوني هو علم ***فعَّال*** (Active) أحد منابعه هو معارف حرفيي القرون الوسطى، وبنَّائِّي الآلات. يقدم هذا العلم الوسائط للتأثير المنهجي على العالم، وللتنبؤ وتحوير مجرى السيرورات الطبيعية ولتَصَوُرِ آلات يمكن أن تُخضِعَ وتستخدم القوى والمصادر المادية للطبيعة.

العلم الحديث بهذا المعنى هو استمرار للجهود الدائمة للإنسان لتنظيم استثمار العالم الذي نعيش فيه. ومعلوماتنا ضئيلة عن المراحل الأولى لهذه الجهود. إلا أنه من الممكن تخيل المعرفة والمهارات اللازمة لحدوث "الثورة النيوليتية" (Neolithic Revolution)، عندما بدأ الإنسان تدريجياً في تنظيم بيئته الطبيعية والاجتماعية مستعملاً تقنيات جديدة لاستغلال الطبيعة ولتنظيم مجتمعه. لا نزال نستعمل أو استعملنا حتى الفترة الأخيرة تقنيات نيوليتية – مثلاً أنواعاً من الحيوانات والنباتات التي دجنت أو اصطفيت، حياكة، خزف وأعمال حديدية. وكان نظامنا الاجتماعي مبنياً ولمدة طويلة على ذات تقنيات الكتابة والهندسة والحساب التي كانت لازمة لتنظيم مجموعات اجتماعية متمايزة هرمياً مثل تلك التي كانت في الدول –المدن النيوليتية. وهكذا فإننا لا نستطيع إلا أن نعترف بالاستمرارية التي تتواجد بين التقنيات النيوليتية والثورات العلمية والصناعية [١٣].

وهكذا فلقد نشر العلم الحديث هذه المحاولة القديمة مضخماً إياها ومسرعاً دوماً لإيقاعها. إلا أن هذا لا يستنفد كل معاني العلم بالمعنى الذي أعطاه له التركيب النيوتوني.

بالإضافة إلى التقنيات المختلفة المستعملة في مجتمع ما، فإننا نجد عدداً من العقائد والأساطير التي تحاول فهم موقع الإنسان في العالم. ومحاولة العلم *لفهم* طبيعة العالم، طريقة تنظيمه وموقع الإنسان فيه مثل كل هذه الأساطير والكونيات.

لا مجال للقول من وجهة نظرنا بأن التأملات السابقة لسقراط تبدو وقد استخلصت من أسطورة هزيود في الخلق - أي الاستقطاب الأولي بين السماء والأرض، الرغبة التي أيقظها إيروس [إله الحب]، الولادة الأولية للأجيال الأولى من الآلهة التي شكلت القوى الكونية المتمايزة، الاختلاف والكفاح، الفظائع المتعاقبة والثارات حتى الوصول الأخير إلى حكم العدالة (dike). ما هو مهم أنه خلال أجيال قليلة جمع المفكرون ما قبل سقراط وناقشوا وانتقدوا بعض التصورات التي لا نزال نحاول نحن تنظيمها لفهم العلاقة بين الكينونة والصيرورة، أو ظهور النظام من الظروف الأولية المفترضة واللامتمايزة.

من أين يأتي لا استقرار المتجانسات؟ لماذا تتمايز عفوياً؟ ولماذا توجد الأشياء أصلاً؟ هل هي نتاج ظلم هش وفان، انعدام توازن في توازن سكوني لقوى بين قوى طبيعية متصارعة؟ أو هل أن القوى التي تخلق وتدير الأشياء توجد بذاتها -قوى متنافسة من الحب والكراهية والتي تقود إلى ولادة ونمو ثم انحدار وتبدد؟ هل التغيير وهمٌ أم هو على العكس الصراع الدائم للأضداد التي تُكِّون الأشياء؟ هل يمكن إرجاع التغير الكيفي إلى حركة في فراغ لذرات تختلف فقط في شكلها، أم أن الذرات نفسها مكونة من مجموعة من البذور المتنوعة كيفياً، كل واحدة منها تختلف عن الأخرى؟ وأخيراً هل إن اتساق العالم هو رياضي؟ وهل الأعداد هي مفتاح الطبيعة؟

إن الاطراد العددي بين الأصوات الذي اكتشفه الفيثاغوريون لا يزال جزءاً من نظرياتنا الحالية. وإن الخطط الرياضية التي اشتغل عليها اليونانيون

تشكل الجسم الأول للفكر التجريدي في التاريخ الأوروبي – أي الفكر الذي يمكن لنتائجه أن تُتَناقَل ويعاد إنتاجها من قبل كل الكائنات البشرية العاقلة. لقد توصل الإغريق لأول مرة إلى شكل من المعرفة الاستدلالية والتي احتوت على درجة من الموثوقية لا تتأثر بالاعتقادات والتوقعات والعواطف.

و إن أهم مظهر مشترك بين الفكر الإغريقي والعلم الحديث، والذي يعارض الشكل الديني والأسطوري للبحث هو التأكيد على البحث النقدي والتفنيد(١٤).

لا نعرف إلا القليل عن الفلسفة الماقبل سقراطية والتي نمت في مدن إيونيا وفي مستعمرات اليونان الكبرى. هكذا فإنه يمكننا فقط التخمين عن العلاقة التي يمكن أن تكون قد وجدت بين تطور الفرضيات النظرية والكونية وبين الحرف والفعاليات التقنية التي ازدهرت في هذه المدن. يخبرنا التاريخ المتناقل أنه كنتيجة لرد فعل اجتماعي أو لاتجاهات دينية معادية، حكم على الكثير من الفلاسفة بالإلحاد وعوقبوا إما بالنفي أو بالإعدام. إن هذا الاستدعاء إلى الانتظام (recall to order) يمكن أن يكون رمزاً لأهمية العوامل الاجتماعية في أصل وفوق كل شيء في نمو التجديدات التصورية. لفهم نجاح العلم الحديث يجب علينا أن نشرح أيضا لماذا عُذِّبَ مؤسسوه على العموم وقُمِعَ مقتربهم النظري لصالح شكل من المعرفة أكثر اتساقا مع الآمال والعقائد الاجتماعية.

ولكن مهما كان فإنه منذ أفلاطون وأرسطو ولاحقا فإن الحدود قد حُدِّتْ وتوجه الفكر في قنوات ذات اتجاهات مقبولة اجتماعيا. وعلى الخصوص فقدأُسِّس للتمييز بين ***التفكير النظري والفعالية التقنية***. الكلمات التي لا نزال نستعملها اليوم – آلة، آلي، مهندس – لها ذات المعاني. إنها لا تشير إلى معرفة عقلية ولكن إلى دهاء وحرافة. وكانت الفكرة ليس أن نتعلم عن السيرورات الطبيعية لكي نستعملها بفعالية أكبر ولكن للتحايل على الطبيعة «للكيد» ضدها – أي لكي نقوم

بالأعاجيب ونخلق نتائج خارجة «عن النظام الطبيعي» للأشياء. وهكذا فإن حقلي المنابلة العملية وفهم الطبيعة كانا منفصلين تماما. وهكذا فإن منزلة أرخميدس هي فقط منزلة مهندس؛ وتحليله الرياضي لتوازن الآلات لم يكن يعتبر قابلاً للتطبيق على عالم الطبيعة، على الأقل ضمن إطار الفيزياء التقليدية. وبالمقابل فإن تركيب نيوتن يعبر عن حلف منهجي بين المنابلة والفهم النظري.

هنالك عنصر ثالث مهم وجد تعبيراً له في الثورة النيوتونية. إذ إن هناك تعارضاً ملفتاً للنظر، ربما اختبره كل منا بين عالم النجوم والكواكب الهادئ والعالم المضطرب والزائل المحيط بنا. وكما أكدت مرسيا إلياد (Mircea Eliade) ففي العديد من الحضارات القديمة هناك فصل بين الفضاء الدنيوي والفضاء المقدس، انقسام في العالم بين فضاء عادي خاضع للصدفة والتحلل وفضاء مقدس ذو معنى مستقل عن العوارض والتاريخ. وهو التعارض ذاته الذي أقامه أرسطو بين عالم النجوم وعالم ما تحت القمر. وهذا التعارض أساسي للطريقة التي قدَّر فيها أرسطو إمكانية توصيف كمي للطبيعة. وحيث أن حركة الأجرام السماوية ليست تغيراً ولكنها حالة« مقدسة» هي دوما ذاتها ويمكن توصيفها بواسطة تمثيلات مجردة رياضية. وفي عالم ما تحت القمر لا تسود الدقة والتصلب الرياضي. ويمكن فقط إخضاع السيرورات الطبيعية غير الدقيقة إلى توصيف تقريبي.

على أية حال بالنسبة لأرسطو فإن معرفة لماذا تحدث السيرورات أكثر أهمية من معرفة كيف تحدث أو بالأحرى أن هذين المظهرين غير قابلين للفصل. كان أحد أهم مصادر التفكير الأرسطي ملاحظة نمو الجنين، وهو سيرورة عالية التنظيم حيث تتشابك، مع أنها في الظاهر تبدو مستقلة، حوادث تشارك في سيرورة تبدو جزءاً من مخطط ما عام. والطبيعة الأرسطية ككل مثل الجنين منظمة حسب أسباب نهائية. وهدف كل تغيير، إذا كان حسب

طبيعة الأشياء، هـو فـي تحقيق كـل موجود الكمال المتضمن في ماهيته المعقولة. وهكذا فإن هذه الماهية التي هي في حالة المخلوقات الحية تشكل السبب العقلي والصوري والنهائي، هي مفتاح فهم الطبيعة. و«مولد العلم الحديث» بهذا المعنى وهو الصدام بين الأرسطيين وغاليليو وهو صدام بين شكلين من أشكال العقلانية (١٥).

برأي غاليليو فإن السؤال «لماذا» العزيز على أرسطو، كان طريقة خطرة في التخاطب مع الطبيعة على الأقل بالنسبة لعالِم. أما الأرسطيون فلقد اعتبروا من جهة أخرى موقف غاليليو شكلا من أشكال التطرف اللامعقول.

وهكذا مع ظهور المنظومة النيوتونية انتصر نوع جديد من العمومية، والذي وحَّد ما كان يبدو حتى ذلك الحين مجزئاً.

الحوار التجريبي

لقد أكدنا على أحد العناصر الأساسية للعلم الحديث: التزاوج بين النظرية والممارسة، المزج بين الرغبة في تشكيل العالم والرغبة في فهمه. ولكي يصبح هذا ممكنا لم يكن من الكافي، بالرغم من اعتقادات التجريبيين، احترام الوقائع الملاحظة فقط. ففي بعض النقاط، حتى الحاوية على توصيف للحركة الميكانيكية، كانت في الواقع فيزياء ارسطو أقرب التصاقا بالوقائع التجريبية. إن الحوار التجريبي مع الطبيعة الذي اكتشفه العلم الحديث يتضمن ***فعالية*** وليس ملاحظة سلبية. الذي يجب عمله هو منابلة الحقيقة الفيزيائية، مسرحتها (stage it to) بطريقة بحيث تتوافق أكثر ما يمكن مع توصيف رياضي. يجب تحضير الظاهرة المدروسة وعزلها حتى تقارب ***وصفا مثاليا*** لا يمكن الوصول إليه فيزيائيا ولكنه يتلاءم مع خطة تصورية متبناة.

ولنأخذ كمثال على ذلك توصيف منظومة من البكرات المثال الكلاسيكي منذ أيام أرخميدس، عُمِم تعليله من قبل العلماء المحدثين ليغطي كل الآلات البسيطة. ومن المدهش أن نجد أن التعليل الحديث قد أزال، على أساس أنه لا علاقة له، الشيء الأساسي الذي حاولت فيزياء أرسطو تعليله، على الأخص واقعة أن حجرا «يقاوم» محاولات حصان جرها وأنه يمكن «التغلب» على هذه المقاومة باستعمال جر من خلال منظومة بكرات. بالنسبة لغاليليو لا تعطي الطبيعة أبدا شيئا، لا تقوم أبدا بشيء دون مقابل. لا يمكن غشها أبدا ؛ ومن اللامعقول أن نفكر أنه يمكننا أن نحصل منها على عمل إضافي بالحيلة أو باستعمال خطة ما[١٦]. وحيث أن العمل الذي يمكن للحصان أن يقوم به هو نفسه مع أو بدون البكرات فإن الناتج **يجب** أن يكون هو نفسه. ويصبح هذا إذن نقطة البداية لشرح ميكانيكي، الذي بهذا يرجع إلى عالم مثالي. في هكذا عالم فإن التأثير «الجديد»- تتحرك الحجر أخيرا - هو ثانوي الأهمية ؛ وتوصَّف مقاومة الحجر وصفيا فقط بحدود الاحتكاك والحرارة. وبدلا من ذلك فإن ما يوصف بدقة هو الموقف المثالي، حيث تربط علاقة تكافؤ بين السبب وهو العمل الذي يقوم به الحصان والنتيجة حركة الحجر. في هذا العالم المثالي ***يمكن للحصان في أية حالة تحريك الحجر*** ولمنظومة البكرات التأثير فقط في تحويل طريقة تناقل جهود الجر ؛ فبدلا من تحريك الحجر لمسافة ل المسافة المساوية حين جر الحبل فإن الحصان يجرها إلى مسافة ل/ ن حيث ن هي عدد يعتمد على عدد البكرات. هكذا ككل الآلات البسيطة فإن البكرات تشكل آلة سلبية تنقل الحركة دون إنتاجها.

هكذا فالحوار التجريبي يقابل عملية عالية الخصوصية. تُستنطَقُ الطبيعة بواسطة التجريب كما لو في قاعة محكمة باسم مبادئ قبلية. وتُسجَل

أجوبة الطبيعة بدقة متناهية، ولكن مناسبّة هذه الأجوبة تُثمَن بحدود التصورات المثالية التي وجهت التجربة. وكل ما تبقى لا يعتبر معلومات ولكن ثرثرة لا معنى لها ونتائج ثانوية مهملة. قد ترفض الطبيعة الفرض النظري موضوع البحث. ومع ذلك فإن الأخير يبقى مستعملا كقياس تقاس بالنسبة له نتائج ومغذى الجواب مهما كان. وهذه هي بالضبط الطريقة الإلزامية التي يشير إليها هايدغر في نقاشه للعقلانية العلمية.

بالنسبة لنا فإن الطريقة التجريبية هي حقا *فن* - أي أنها مبنية على مهارات خاصة وليس على قواعد عامة. وعلى هذا فليس هناك من ضمانات للنجاح ويبقى الإنسان دوما تحت رحمة التفاهة أو الحكم الضعيف. وليس هناك من مبدأ منهجي للتخلص مثلا من خطر الوقوع في طريق بحث مسدود لا مخرج منه. إن الطريقة التجريبية هي فن اختيار السؤال المهم وفي استعراض كل النتائج المتضمنة في الإطار النظري، كل الطرق التي يمكن للطبيعة أن تجيب بها باللغة النظرية المختارة. ومن بين التعقيد الفعلي للظواهر الطبيعية يجب اختيار ظاهرة مفردة التي على الأرجح تجسد نتائج النظرية بطريقة مبهمة. ومن ثم فإن هذه الظاهرة ستجرد من محيطها و«ستمسرح» بحيث تسمح باختبار النظرية بطريقة يمكن إعادتها ونقلها.

ومع أنه تم انتقاد هذه العملية التجريبية منذ البداية، وتم تجاهل هذا الانتقاد من قبل التجريبيين، وأعيد الانتقاد من قبل آخرين على أساس أنه نوع من التعذيب، على أنه طريقة تضع الطبيعة على آلة تعذيب، إلا أنها استمرت في البقاء بالرغم من كل التحويرات للمضمون النظري للتوصيفات العلمية وفي النهاية حددت الطريقة الجديدة في البحث التي أدخلها العلم الحديث.

و يمكن للعملية التجريبية حتى أن تصبح أداة للتحليل النظري البحت. ومن ثم فهي "تجربة فكرية"، هي تخيل مواقف تجريبية خاضعة تماما لمبادئ نظرية، تسمح بالبحث في نتائج هذه المبادئ في موقف معين ما. وقد لعبت تجارب فكرية كهذه دورا حاسما في أعمال غاليليو، وهي الآن في مركز الأبحاث في نتائج التقلبات التصورية في الفيزياء الحديثة وخصوصا في النسبية وميكانيك الكم. أحد أهم التجارب الفكرية كهذه قطار أينشتاين الذي يمكن منه لمراقب أن يقيس سرعة انتشار شعاع ضوئي على الرصيف، أي يسير بسرعة (c) بالنسبة لمنظومة مرجعية التي يسير القطار بالنسبة لها بسرعة v. وبحسب التفكير الكلاسيكي فإن المراقب على القطار سيعطي للشعاع الضوئي الذي يسير بنفس الاتجاه سرعة هي v -c إلا أن هذه النتيجة الكلاسيكية تمثل تماما اللامعقولية التي صممت التجربة الفكرية لإظهارها. في النظرية النسبية تبدو سرعة الضوء على أنها ثابت *كلي* في الطبيعة. ومهما كانت المنظومة المرجعية العطالية المعتبرة فإن سرعة الضوء هي دوما نفسها. ومنذ ذلك الوقت فلقد استمر قطار أينشتاين في بحث النتائج الفيزيائية لهذا التغير الأساسي.

الطريقة التجريبية كما هي مبنية في العلم الحديث هي أساسية للحوار مع الطبيعة. والطبيعة التي يتم سؤالها بهذه الطريقة هي بالطبع مبَسطة وأحيانا مجتزأة. ولكن هذا لا يحرمها من قدرتها على دحض معظم الفرضيات التي نتخيلها. ولقد اعتاد أينشتاين على القول أن الطبيعة تقول "كلا "لمعظم الأسئلة التي تسألها وأحيانا تجيب "ربما ". ولا يمكن للعالم أن يعمل ما يريد ولا يمكنه أن يفرض على الطبيعة أن تقول ما يريد هو سماعه. لا يمكنه أن يسقط عليها أكثر رغباته صميمية ولا توقعاته. وهو في الواقع يتعرض لخطر أكبر ويلعب لعبة خطرة إذا أفلحت تكتيكاته في الإحاطة بالطبيعة، وبإجبارها للوقوف وظهرها للحائط[١٧]. بالإضافة إلى

ذلك فإنه من الصحيح أنه مهما كان السؤال أكان "نعم" أم "لا" فإنه سيُعبَّر عنه بنفس اللغة النظرية للسؤال. ومع ذلك تتطور هذه اللغة أيضا حسب سيرورة تاريخية معقدة تتضمن أجوبة الطبيعة في الماضي وعلاقاتها مع لغات تجريبية أخرى، بالإضافة إلى ذلك فإنه تنشأ أسئلة جديدة مقابل الاهتمامات المختلفة لكل فترة. وينشئ هذا علاقة معقدة بين القواعد الخاصة للعبة العلمية - وخاصة الطريقة التجريبية في التفكير في الطبيعة، التي تضع الضوابط الكبرى على اللعبة - وشبكة ثقافية ينتمي إليها أحيانا بعض العلماء دون تفكير.

إننا نعتقد أن الحوار التجريبي هو حصيلة لا عكوسة للثقافة البشرية. وهو يقدم ضمانة أنه عندما يبحث الإنسان في الطبيعة فإنها ستعامَل ككائن ***مستقل***. وهي تشكل أساس طبيعة النتائج العلمية القابلة للإعادة وللتناقل. إلا أنه مهما كان السماح للطبيعة أن تتكلم، فإنها متى عبَّرت عن نفسها فإنه ليس هناك من معارضة: فالطبيعة لا تكذب.

الأسطورة في نشأة العلم

كان الحوار بين الإنسان والطبيعة مُدركًا بشكل دقيق من قبل مؤسسي العلم الحديث على أنه الخطوة الأولى نحو فهم الطبيعة. ولكن طموحاتهم ذهبت أبعد من ذلك. لقد تصور غاليليو والذين أتوا بعده العلمَ على أنه قادر على اكتشاف الحقائق ***الكلية*** (Global) حول الطبيعة. فالطبيعة ليس فقط ستُكتَب بلغة رياضية يمكن فك رموزها بالتجريب، ولكن لا يوجد إلا لغة وحيدة كهذه. وبإتباع هذا الاعتقاد الأساسي فإن العالم يُرَى على أنه متجانس ويمكن لتجارب محلية أن تكون قادرة على كشف حقيقة كلية. وهكذا فإن

دراسة العلم لأبسط ظاهرة يمكن أن تُأوَل على أنها المفتاح لفهم الطبيعة ككل ؛ وتعقيد الطبيعة هو ظاهري فقط وتنوعها يمكن أن يُفسَّر بحدود حقيقة عامة متجسدة في حالة غاليليو في القوانين الرياضية للحركة.

لقد استمر هذا الاعتقاد في البقاء لقرون عدة. ففي مجموعة محاضرات قدمها فاينمان Feynman[١٨] منذ عدة سنوات في الإذاعة البريطانية BBC قارن الطبيعة بلعبة شطرنج ضخمة. التعقيد ظاهري؛ وكل حركة تتبع قواعد بسيطة. ربما كان العلم في أيامه الأولى بحاجة إلى هذا الاعتقاد بقدرته على الوصول إلى حقيقة كلية. فلقد أضاف هذا الاعتقاد قيمة عظمى لطريقة التجريب وإلى حد ما ساهم في إلهامها. ربما كان تصور ثوري للعالم، تصور شامل مثل التصور "البيولوجي" لعالم ارسطو ،ضروريا للتخلص من نير التراث، لكي يعطي لأبطال التجريب قوة الاعتقاد وعزم الحجة اللتين مكنتاهم من الثبات أمام الأشكال السابقة للعقلانية. ربما كان هناك حاجة لاعتقاد ميتا فيزيائي لتحويل معرفة الحرفيين وبنائي الآلات إلى طريقة جديدة للبحث العقلاني في الطبيعة. وربما نعجب أيضا ما هي نتائج وجود هذا النوع من الاعتقاد "الأسطوري "لشرح تقبل التطورات الأولى للعلم الحديث في الإطار الاجتماعي. وبالنسبة لهذه النقطة الخلافية فإننا سنحد أنفسنا بحدود عدة ملاحظات ذات صفة عمومية بهدف تعيين المشكلة فقط – أي مشكلة علم شعر البعض أن تقدمه انتصار للعقل أما بالنسبة لآخرين فاعتبروه إزالة للوهم واكتشاف مؤلم للغباء الآلي للطبيعة.

يبدو أنه من الصعب إنكار الأهمية الأساسية للعوامل الاجتماعية والاقتصادية – وخاصة تطور تقنيات الحرفيين في الأديرة، حيث تم الاحتفاظ ببقايا معارف عالم قد تحطم، ولاحقا في المدن التجارية الكثيرة الضوضاء – في ولادة العلم التجريبي الذي هو شكل منظم لجزء من المعرفة الحرفية.

بالإضافة إلى ذلك فإن التحليل المقارن الذي قام به نيدهام Needham[١٩] يكشف الأهمية الحاسمة للبنى الاجتماعية في نهاية العصور الوسطى. لم تكن طبقة الحرفيين والمخترعين التقنيين المستقبليين محتقرةً كما لدى الإغريق القدماء، ولكنهم والمثقفون كانوا على العموم مستقلين عن السلطات. لقد كانوا مزاولي أعمال أحرار وحرفين مكتشفين يبحثون عن رعاية، كانوا يبحثون عن الجديد وعن كل الإمكانيات التي يقدمها هذا الجديد مهما كانت خطيرة بالنسبة للنظام الاجتماعي العام. ومن جهة أخرى وكما يشير نيدهام كان علماء الصين موظفين مجبرين على التقيد بقواعد البيروقراطية. لقد شكلوا جزءا أساسيا من الدولة التي كان هدفها الأولي حفظ القانون والنظام. ولقد ساهمت البوصلة والمطبعة والبارود كلها والتي كانت قد اكتشفت سابقا في الصين في تخلخل أسس مجتمع القرون الوسطى وفي انفتاح أوروبا على القرون الحديثة، ولكن لم يكن لها هذا التأثير على المجتمع الصيني. وظهر المجتمع التجاري الأوروبي المغامر في مقابل ذلك ملائم تماما للحث وللتأكيد على النمو المجدد والديناميكي للعلم الحديث في مراحله الأولى.

إلا أنه يبقى السؤال. إننا نعلم أن بنَّائي الآلات استعملوا التصورات الرياضية - نسب المسننات، مطال الأجزاء المتحركة المختلفة، وهندسة حركتها النسبية. ولكن لماذا لم يكن تطبيق الرياضيات محدد فقط بالآلات؟ لماذا تم تصور الحركة الطبيعية على صورة آلة معقلنة؟ يمكن طرح هذا السؤال فيما يتعلق بالساعة التي كانت إحدى انتصارات حرفية القرون الوسطى والتي أصبحت فيما بعد تحدد إيقاع الحياة في المدن الكبرى للقرون الوسطى. لماذا أصبحت الساعة تقريبا وفورا رمزَ النظام العالمي؟ ربما يقبع في هذا السؤال الأخير بعض عناصر الجواب. الساعة هي *اختراع* محكوم

بعقلانية تقع خارج ذاتها، بخطة تنفذ بشكل أعمى بتركيبها الداخلي. إن عالم الساعة هو استعارة تذكر بالله صانع الساعات، السيد العقلاني لطبيعة تشبه الروبوت. يبدو وكأنه حدث في نشوء العلم الحديث نوع من"الطنين" بين الخطاب اللاهوتي والفعالية النظرية والتجريبية - وهو طنين بدأ بدون شك يضخّم ويدعم ادعاء العلماء أنهم في سبيل اكتشاف سر "آلة الكون العظيمة".

بالطبع فإن التعبير **الطنين** يغطي مسألة شديدة التعقيد. وليس في نيتنا ولسنا في موقع التأكيد أن الخطاب الديني قد **حدد** بأي شكل ولادة العلم النظري، ولا "منظور العالم" الذي تطور بالترابط مع الفعالية التجريبية. وباستعمالنا التعبير ***الطنين*** - أي التضخيم المتزامن لخطابين - فإننا اخترنا عن عمد تعبيرا لا يفترض مسبقا فيما إذا كان الخطاب اللاهوتي أو "الأسطورة العلمية" هو الذي نشأ أولا وشجع الآخر.

لنلاحظ أنه بالنسبة لبعض الفلاسفة فإن مسألة "الأصل المسيحي" للعلم الغربي ليست مسألة استقرار تصور للطبيعة على أنها آلة ذاتية الحركة ولكن أيضا مسالة وجود صلة "أساسية" بين العلم التجريبي كما هو والحضارة الغربية في مكونيها العبري والإغريقي. بالنسبة لألفرد نورث وايتهد تقع هذه الصلة على مستوى الاعتقاد. وكانت هناك "حاجة" لمثل هذا الاعتقاد للإيحاء بـــ "الإيمان العلمي" لمؤسسي العلم الحديث :

وأعني الاعتقاد الذي لا يمكن إلغاؤه أن كل حادث تفصيلي يمكن أن يربط بسوابقه بطريقة محددة تماما ممثلة لمبادئ عامة. بدون هذا الاعتقاد_جهود العلماء الكبيرة ستكون بدون أمل. إن هذا الاعتقاد الغريزي القائم بوضوح في مواجهة الخيال هو القوة المحركة للبحث: أن هناك سر وأن هذا السر يمكن إماطة اللثام عنه. كيف كان هذا الاعتقاد متجذرا بقوة في العقل الأوروبي؟ عندما

نقارن هذه النغمة في الفكر الأوروبي مع موقف الحضارات الأخرى عندما تترك لنفسها يبدو وكأن هناك نبع وحيد لأصلها. إنها يجب أن تكون ناشئة عن الاصرار في العصور الوسطى على عقلانية الله، ممثلا جامعا القدرة الذاتية ليهوه مع عقلانية الفيلسوف الإغريقي. كل التفاصيل كانت تراقب وتنظم: إن البحث في الطبيعة لا يمكن أن ينتج إلا تأكيدا للإيمان بالعقلانية. تذكروا أنني لا أتكلم عن العقائد الواضحة لأفراد عدة. ما أعنيه هو الانطباع على العقل الأوروبي الناتج عن يقين عصور. بهذا أعني نغمة غريزية في الفكر وليس اعتقادا بكلمات(٢٠).

سوف لانتابع هذا الموقف أكثر من ذلك. إنه خارج الموضوع "البرهنة" على أن العلم الحديث يمكن أن ينشأ فقط في أوروبا المسيحية. وليس من الضروري حتى سؤال مؤسسي العلم الحديث فيما إذا كانوا قد استمدوا أي إيحاء فعلي من الحجج اللاهوتية. أكانوا مخلصين أم لم يكونوا، المهم أن هذه الحجج جعلت تأملات العلم الحديث معقولة ومقبولة اجتماعيا، في فترات زمنية تختلف من بلد لآخر. فمثلا الإشارات الدينية كانت لاتزال شائعة في الكتب العلمية الإنكليزية في القرن التاسع عشر. ومن المدهش أنه ومع إحياء الاهتمام بالصوفية فإن اتجاه النقاش يبدو معكوسا. ويبدو العلم الآن هو الذي يعطي المعقولية للتأكيدات الصوفية.

إن السؤال الذي واجهناه هنا يقود بوضوح نحو مجموعة مسائل تتشابك فيها المواضيع اللاهوتية والعلمية المرتبطة بالتاريخ "الخارجي" للعلم، أي توصيف العلاقة بين الشكل والمضمون للمعرفة العلمية من جهة ومن جهة أخرى الاستعمال الذي توضع فيه هذه المعرفة في الإطار الاجتماعي والاقتصادي والمؤسساتي. وكما قلنا سابقا فإن النقطة التي نهتم بها في الحاضر هي الصفة الخاصة ونتائج الخطاب العلمي الذي تم تضخيمه بالطنين مع الخطابات اللاهوتية.

يخبرنا نيدهام عن التهكم الذي قابل به الكتاب الصينيون في القرن الثامن عشر إعلان الجزويت عن انتصارات العلم الحديث. إن فكرة أن الطبيعة كانت محكومة بقوانين بسيطة وقابلة للمعرفة بدت لهم كمثال تام لإسقاط الحمق الإنساني على الطبيعة. ويعتقد نيدهام أن هذا "الحمق" له جذور ثقافية عميقة. ولشرح المقارنة للفروق الكبيرة بين التصورات الغربية والصينية يذكر محاكمة الحيوان التي كانت تتم في العصور الوسطى. ففي عدة ظروف شاذة مثل افتراض أن ديكا وضع بيضا كان يحكم عليه بالموت حرقا في أوربا لأنه تخطى قوانين الطبيعة التي كانت مساوية لقوانين الله. وشرح نيدهام كيف أن ديكا كهذا في الصين ربما على الأغلب سيختفي بهدوء. فهو لم يكن مجرما من أي نوع ولكن سلوكه الشاذ يصطدم مع التناغم الطبيعي والاجتماعي. إن حاكم المقاطعة وربما حتى الإمبراطور سيكون في موقف حرج إذا عرف تصرف الديك. ويعلق نيدهام أنه تبعا لتصور فلسفي سائد في الصين الكون دوما في حالة تناغم تلقائي واتساق الظواهر لا ينتج عن أية سلطة خارجية. وعلى العكس فإن هذا التناغم في الطبيعة والمجتمع والسماوات ناتج عن توازن بين هذه السيرورات. وهي ثابتة ومعتمدة على بعضها وهي تهتز مع بعضها بنوع من التناغم الغير مدبر. إذا كان هناك من قانون متضمن، فإنه سيكون قانونا لم يتصوره أحد لا إله ولا إنسان، ويجب التعبير عن هكذا قانون بلغة لا يمكن للإنسان فهمها وليس قانونا مؤسسا من خالق هو على صورتنا.

وينهي نيدهام بالتساؤل التالي :

في منظور العلم الحديث ليس هناك بالطبع من بقايا لأفكار الأمر والواجب في "قوانين" الطبيعة. ويُفكَر فيها الآن على أساس إضطرادات إحصائية صحيحة

في أزمنة وأمكنة معينة وعلى أنها توصيفات وليس وصفات كما ذكر كارل بيرسون في فصل شهير. إن درجة الذاتية في صياغة القانون العلمي كانت موضوع نقاش حار خلال كامل الفترة من ماك وحتى أدنغتون، ولا يمكن متابعة هذه الأسئلة هنا. والمشكلة هي فيما إذا كان التعرف على اضطرادات إحصائية كهذه وعبارتها الرياضية يمكن الوصول إليه بأي طريق غير ذلك الذي اتبعها العلم الغربي. هل كانت حالة عقل حيث ديك يضع بيضا يمكن أن يلاحق قانونياً ضرورية لثقافة سيكون لها لاحقا خاصية إنتاج كبلر؟ (٢٢)

يجب التأكيد الآن أن الخطاب العلمي ليس بأي شكل نقل للآراء الدينية التراثية. ومن الواضح أن العالم الذي توصّفه الفيزياء الكلاسيكية ليس هو عالم سفر التكوين حيث خلق الله النور والسماء والأرض والأنواع الحية والعالم وحيث لم تتوقف العناية الإلهية عن الفعل، محفزة الإنسان إلى الأمام نحو تاريخ المهم فيه هو خلاصه. إن عالَم الفيزياء الكلاسيكية هو عالم لا زمني، إذا كان تم تخليقه فإنه تم تخليقه دفعة واحدة، كما يخلق مهندس روبوتا قبل أ ن يدعه يعمل لذاته. وبهذا المعنى فإن الفيزياء في الواقع قد تطورت بالتعارض مع الدين والفلسفات التراثية. ومع ذلك فإننا نعلم أنه تم استدعاء الإله المسيحي ليقدم أساسا لمفهومية العالم. وفي الواقع يمكننا هنا التكلم عن نوع من "تجمع" بين مصالح اللاهوتيين الذين اعتقدوا أن العالم عليه الاعتراف بقدرة اله بواسطة الاستسلام الكامل له وبين الفيزيائيين الذين يبحثون عن عالم من السيرورات التي يمكن توصيفها رياضيا.

وعلى كل فإن العالم الأرسطي الذي دمره العلم الحديث لم يكن مقبولا من كلا هؤلاء اللاهوتين والفيزيائيين. لقد كان هذا العالم المرتب والمتسق والمتراتب والعقلاني شديد الاستقلال والكائنات التي تسكنه قوية جدا وفعالة وخضوعها للمالك المطلق مشكوك فيه ومحدود بالنسبة لما يتطلبه

العديد من اللاهوتيين[٢٣]. ومن جهة أخرى فلقد كان هذا العالم معقداً ومتنوعاً جداً كيفياً لإمكانية تطبيق الرياضيات عليه.

تعظم الطبيعة "الميكانيكية"، التي يدرسها العلم الحديث، خالقها، وهي قد خُلِقَت وحُكِمَت حسب خطة تشملها بالكامل والتي لا تشعر بها وهي بهذا تلائم بشكل مدهش حاجات كل من الفيزيائيين واللاهوتيين. ومع أن لايبنتز حاول أن يبرهن أن تطبيق الرياضيات على الطبيعة متسق مع ما يمكن أن يبدو سلوكاً فعالاً ومتنوعاً نوعياً، فإن اللاهوتيين والعلماء جمعوا قواهم لتوصيف الطبيعة على أنها ميكانيكية سلبية ولا عقلانية وهو أساساً غريب عن حرية وأهداف العقل البشري. كما لا حظ وايتهد "هي موضوع بليد لا صوت له ولا رائحة ولا لون وهي ليست إلا مادة مسرعة لا نهاية لها ولا معنى"[٢٤]. وهكذا جردت الطبيعة حسب المسيحية من أية خاصية تسمح للإنسان أن يتعرف على نفسه مع الاتساق القديم "للصيرورة" الطبيعية مخلّفة الإنسان وحيدا وجها لوجه مع الله، وتكفي لغة وحيدة لتوصيف هذه الطبيعة، وليس آلاف اللهجات الرياضية التي سمعها لايبنتز.

ويمكن أن يساعد اللاهوت في التعليق على الموقف الغريب للإنسان عندما يكتشف بجهد القوانين التي تحكم العالم. بالتأكيد ليس الإنسان جزءاً من الطبيعة التي يوصِّفها موضوعياً؛ إنه يسيطر عليها من الخارج. وفي الواقع فإن الروح البشرية المخلوقة على مثال الله بالنسبة لغاليليو قادرة على فهم الحقائق العقلانية التي تقبع خلف خطة الخلق. وهكذا فهي قادرة على الاقتراب تدريجياً من معرفة للعالم كما يملكها الله عفوية وكاملة وفورية[٢٥].

ولقد تدبر الفيزيائيون وقدموا تعريفاً مقبولاً ثقافياً لمشروعهم بخلاف الذريينِ الذين ُعذِّبوا بسبب إلحادهم وبخلاف لايبنتز الذي شُك على أنه

يرفض وجود العناية الإلهية، أو حرية الإنسان. ويمكن للعقل البشري المتوضع في جسد ما خاضع لقوانين الطبيعة بواسطة أجهزة تجريبية الوصول إلى نقطة مناسبة يراقب منها الله ذاته العالم، والخطة الإلهية التي هذا العالم هو التعبير المحسوس لها. إلا أن العقل ذاته يبقى خارج نتائج تحققاته. ويمكن للعالم أن يصف كل الأشياء التي تكون نسيج الطبيعة مثل روائحها وألوانها على أنها صفات ثانوية وليست جزءا من الطبيعة بل إسقاط عليها من العقل. إن تحقير الطبيعة هو مواز لكل تعظيم لما هو غيرها: الله والإنسان.

حدود العلم الكلاسيكي

لقد حاولنا توصيف الموقف التاريخي الفريد الذي تم فيه التطابق التام بين الممارسة العلمية والاعتقاد الميتافيزيقي. لقد طرح غاليليو ومن أتى بعده ذات المسائل التي طرحها بناؤوا العصور الوسطى، ولكنهم تجاوزوا معرفتهم التجريبية ليؤكدوا بمساعدة الله بساطة العلم وعمومية لغة الطريقة التجريبية المفترضة والمفسرة. وبهذه الطريقة فإنه يمكن النظر إلى الأسطورة الأساسية التي تقبع في أساس العلم الحديث على أنها ناتج المركَّب الغريب الذي وضع شروط الطنين والتضخيم التبادلي في العصور الوسطى بين العوامل الاقتصادية والاجتماعية والسياسية والدينية والفلسفية والتقنية. إلا أن التفكك السريع لهذا المركَّب ترك العلم الكلاسيكي ضائعا ومعزولا في ثقافة متحولة.

لقد ولِد العلم الكلاسيكي في ثقافة يسيطر عليها حلف بين *الإنسان* متوضع في الوسط بين النظام الإلهي والنظام الطبقي وبين *الله* المشرِّع

العقلاني والفكري، المهندس المالك الذي تخيلناه على مثالنا. لقد تجاوز في العيش تلك اللحظة من التوافق الثقافي الذي سمح للفلاسفة واللاهوتيين أن يمارسوا العلم والذي سمح للعلماء أن يكشفوا وُيعِّبروا عن آرائهم حول الحكمة والقدرة الإلهية العاملة في الخلق. وهكذا توصل العلماء بدعم الدين والفلسفة، إلى الاعتقاد أن مشروعهم كان مكتفياً إنسانياً، وأنه قد استنفذ كل إمكانيات المقترب العقلاني من الظواهر الطبيعية. وليست العلاقة بين التوصيف العلمي والفلسفة الطبيعية بحاجة بهذا المعنى لأي تبرير. ويمكن أن يرى على أنه واضح ذاتيا أن العلم والفلسفة كانتا متقاربتين وأن العلم كان يكتشف مبادئ فلسفة طبيعية حقيقية. ولكن من الغريب أن الاكتفاء الذاتي الذي شعر به العلماء قد عَّمر أكثر من غياب إله القرون الوسطى وسحب الضمانة المعرفية التي قدمها اللاهوت. وأصبح الرهان الأصلي الجريء العلم المنتصر للقرن الثامن عشر[٢٦] العلم الذي اكتشف القوانين التي تحكم حركة الأجرام السماوية والأرضية، العلم الذي ضمه ديلامبير واويلر في منظومة تامة ومتساوقة والذي عَّرف لاغرانج تاريخه على أنه التحقق المنطقي نحو الكمال. لقد كان العلم الذي عظمته الأكاديميات التي أسسها الملوك المطلقو الصلاحية مثل لويس الرابع عشر وفريدريك الثاني وكاترين الكبرى[٢٧]، العلم الذي جعل من نيوتن بطلاً قومياً. وبكلمات أخرى، لقد كان علماً ***ناجحاً*** واثقا من أنه برهن على أن الطبيعة شفافة. لقد أجاب لابلاس نابليون الذي سأله عن مكان الله في عالمه *"لست بحاجة إلى هذه الفرضية"*.

لقد استمرت النتيجة الثنائية للعلم الحديث في البقاء وكذلك ادعاءاتها. حيث في علم لابلاس الذي هو في كثير من الأوجه لا يزال يمثل التصور الكلاسيكي

للعلم اليوم، فإن توصيفا ما هو موضوعي كلما كان المراقب معزولا عن الظاهرة والتوصيف نفسه يتم من نقطة تقع حكما خارج العالم، أي من وجهة نظر مقدسة تستطيع الروح البشرية الوصول إليها منذ البداية وهي المخلوقة على مثال الله. وهكذا لا يزال العلم الكلاسيكي يهدف إلى كشف الحقيقة الوحيدة في العالم، اللغة الوحيدة التي تكشف سر كل الطبيعة - والذ م يمكننا التكلم عن *المستوى الأساسي للتوصيف* الذي يمكن منه استنتاج كل شيء في الوجود.

ولنذكر أينشتاين في هذه النقطة الهامة، الذي ترجم إلى تعابير حديثة ما يمكن أن نسميه الأسطورة الأساسية المؤسسة للعلم الحديث:

ما هو الموقع الذي تشغله صورة العالم لدى الفيزيائي النظري بين كل تلك الصور الممكنة؟ إنها تتطلب أعلى نموذج للدقة القياسية في توصيف العلاقات، و هذا ما لا يمكن أن يعطيه إلا استعمال لغة الرياضيات. ومن جهة أخرى بالنسبة لموضوع دراسته فإن على الفيزيائي أن يحد نفسه بدقة: يجب أن يقنع بتوصيف أكثر الأحداث بساطة والتي يمكن أن تُستحضَر في نطاق تجربته؛ وكل الأحداث التي هي من نظام أعقد هي خارج قدرة الإدراك الإنساني على إعادة تركيبها بالدقة اللازمة والكمال المنطقي الذي يتطلبه الفيزيائي النظري. الصفاء التام واليقين في مقابل التمامية (completeness). ولكن ما هو الجاذب لمعرفة هذا القسم الصغير من الطبيعة بشكل كامل، بينما تترك بخجل كل الأشياء الأعقد والأحذق؟ هل يستحق ناتج جهد بسيط كهذا أن يدعى بالاسم الفخور نظرية الكون؟

باعتقادي فإن الاسم مبرر لأن القوانين العامة التي يقوم عليها بناء الفيزياء النظرية تدعي أنها صحيحة لأية ظاهرة طبيعية مهما كانت. وبهذه القوانين من الضروري أن يكون ممكنا الوصول إلى التوصيف، أي بقول آخر إلى نظرية لكل السيرورات الطبيعية بما فيها الحياة، بواسطة استنتاج بحت، إذا لم

تكن هذه السيرورة الإستنتاجية خارج نطاق إمكانية العقل البشري. وهكذا فإن تخلي الفيزيائي عن تمامية كونه his cosmos ليست موضوع مبدأ أساسي(٢٨).

كان هناك لبعض الوقت من استمر في التوهم أن الجاذبية بالشكل الذي عبر عنها قانون الثقالة يمكن أن تبرر نسبة نشاط أصيل للطبيعة والذي إذا عُمِمَ فإنه سيفسر أصول أشكال خاصة متزايدة من الفعالية، بما فيها التفاعلات التي تشكل المجتمع البشري. ولكن هذا الأمل تحطم بسرعة على الأقل جزئيا كنتيجة للمتطلبات التي كَوَّنها الوضع السياسي والاقتصادي والمؤسساتي التي تطور العلم ضمنها. لن نتفحص هذا المظهر للمسألة مع أنه مهم. هدفنا هنا هو التأكيد على أن هذا الفشل ذاته بدا أنه يُؤسِّسُ لاتساق المنظور الكلاسيكي ويبرهن أن ما كان يوما اعتقادا ملهما هو حقيقة محزنة. في الواقع إن التفسير الوحيد القادر على منافسة هذا التأويل للعلم كان حتى الآن الرفض الوضعي لمشروع فهم العالم ذاته. مثلا العالم والفيلسوف الشهير إرنست ماك الذي كان لأفكاره تأثير كبير على الشاب آينشتاين، قد حدد وظيفة المعرفة العلمية على أنها تنظيم التجربة في نظام أكثر ما يكون اقتصادا. ليس للعلم من هدف ذي معنى أكثر من التعبير المجرد والأكثر اقتصاداً للوقائع :

هناك دليل ينزع عن العلم كل غموض ويرينا قوته الفعلية. بالنسبة لنتائج معينة هو لا يعطينا شيئاً لا نصل إليه في زمن طويل بشكل كاف دون طرائق .... وتماما كإنسان فرد محدد فقط بناتج عمله لا يمكن أن يجِّمع ثروة، ولكن على العكس فإن عمل كثيرين مجمعاً في يد واحدة هو أساس الثروة والقوة، لا توجد معرفة تستحق هذا الاسم يمكن أن تجمَّع في عقل إنسان واحد محدد في حياة وحيدة ومالكاً لقوى محدودة، إلا باقتصاد دقيق للفكر وتجميع متأن لتجارب منظمة اقتصاديا لآلاف المعاونين.(٢٩)

وهكذا فإن العلم مفيد لأنه يقود إلى اقتصاد في الفكر. يمكن أن يكون هناك بعض الحق في قول كهذا، ولكن أيخبرنا هذا كل القصة؟ أين أصبحنا بعد نيوتن ولايبنتز والمؤسسين الآخرين للعلم الغربي الذين كان طموحهم أن يقدموا إطاراً مفهوماً للعالم الفيزيائي! وهنا يقود العلم إلى قواعد عملية هامة وليس إلى أكثر من ذلك.

وهذا يرجعنا إلى نقطة انطلاقنا، إلى فكرة أن العلم *الكلاسيكي*، معتبرا لفترة ما على أنه رمز الوحدة الثقافية، وليس العلم كما هو الذي قاد إلى الأزمة الثقافية التي ذكرناها. لقد وجد العلماء أنفسهم وقد أُرجِعوا إلى تأرجح أعمى بين صياح "أسطورة علمية" وسكوت "جدية علمية". بين التأكيد على الطبيعة المطلقة والشاملة للحقيقة العلمية والتراجع إلى تصور للنظرية العلمية على أنها إرشادات عملية للتدخل العقلي في السيرورات الطبيعية.

وكما ذكرنا سابقا فإننا مع الرأي الذي يرى أن العلم الكلاسيكي قد وصل إلى نهايته الآن. وأحد مظاهر هذا التحول هو اكتشاف قصور التصورات الكلاسيكية التي تستنتج أن معرفة بالعالم "كما هو" هي ممكنة. إن الكائنات المطلقة العلم مثل جني لابلاس أو ماكسويل أو إله آينشتاين، الكائنات التي تلعب دورا هاما في المحاكمة العلمية تجسد أنواع التعميم الخارجي الذي ظن الفيزيائيون أنه مسموح لهم القيام به. إن العشوائية والتعقيد واللاعكوسية دخلت في الفيزياء على أنها موضوعات معرفة إيجابية، وإننا نتحرك بعيدا عن هذا الفرض الساذج عن علاقة مباشرة بين توصيفنا للعالم والعالم بذاته. وهكذا فإن الموضوعية في الفيزياء النظرية تأخذ معنى أكثر مراوغةً.

هذا التطور فرضته اكتشافات غير متوقعة إضافية والتي بينت وجود ثوابت كلية universal constants مثل سرعة الضوء التي تحد من قدرتنا على منابلة الطبيعة. (وسنبحث في هذا الوضع غير المتوقع في الفصل السابع) وكنتيجة لهذا كان على الفيزيائيين إدخال أدوات رياضية جديدة والتي تجعل العلاقة بين الإدراك والتأويل أكثر تعقيدا. ومهما كان الواقع يعني، فإنه دوما يقابل بنية فكرية فعالة. إن التوصيفات التي يقدمها العلم لا يمكن فك تشابكها عن فعاليتنا التساؤلية وهكذا لا يمكننا أن نعزوها إلى كائن كلي العلم.

في فجر التركيب النيوتوني بكى جون دون (John Donne) موت كون أرسطو الذي حطمه كوبرنيك:

وتشك فلسفة جديدة في كل شيء

وُتطَفأ جذوة النار الأولى

وتضيع الشمس والأرض ولا يمكن لأي ذكاء إنسان

أن يقوده إلى مكان البحث عنها

ويعترف الناس بحرية أن هذا العلم قد ُاستهلك

عندما في الكواكب والسماوات،

هم يبحثون عن أشياء كثيرة جديدة، ومن ثم يرون أن هذا

كله يتفتت ثانية إلى ذراته

كله قطع حطام، وقد ضاع كل اتساق(٣٠).

إن حجارة وطوب ثقافتنا الحالية المشتتة تبدو كما زمن دون (Donne) قابلة للبناء من جديد في "اتساق" جديد. إن العلم الكلاسيكي، العلم الأسطوري لعالم بسيط سلبي، أصبح من الماضي، قد قضي عليه ليس من النقد الفلسفي أو استقالة التجريب ولكن من التطور الداخلي للعلم ذاته.

الفصل الثاني

التعرف على الواقع

قوانين نيوتن

سنلقي الآن نظرة أكثر تدقيقاً على المنظور الآلي للعالم كما برز في أعمال غاليليو ونيوتن وتابعيهم. ونرغب في توصيف نقاطه القوية في نجاحه في توضيح مظاهر الطبيعة، كما نريد أيضا أن نبين قصوراته.

منذ غاليليو كان توصيف التسارع أحدَ المسائل المركزية في الفيزياء، وكان الملمح المدهش أن التغير الجاري في حالة حركة جسم يمكن أن تصاغ بحدود رياضية بسيطة، ويبدو هذا لنا اليوم على أنه تافه. إلا أننا يجب أن نتذكر أن العلم الصيني الذي نجح في الكثير من الأمور لم يُنتِج صياغةً كميةً لقوانين الحركة. ولقد اكتشف غاليليو أننا لسنا بحاجة للسؤال عن **سبب** حالة الحركة إذا كانت الحركة منتظمة، كما أننا لسنا بحاجة للسؤال عن سبب حالة السكون. كلا الحركة والسكون يبقيان مستقرين دوماً ما لم يحدث شيء يؤثر عليهما. المسألة المركزية هي ***التغيير*** من السكون إلى الحركة ومن الحركة إلى السكون، كما هو أي تغيير في السرعة، فكيف لتغييرات كهذه أن تحدث؟ في صياغة قوانين

الحركة النيوتونية استخدم تطورين متقاربين: أحدهما فيزيائي يتمثل بقوانين كبلر لحركة الكواكب وقوانين غاليليو للأجسام الساقطة، والآخر رياضي يتلخص بصياغة حساب التفاضل أو حساب "اللامتناهيات في الصغر".

كيف يمكن تعريف سرعة تتغير باستمرار؟ كيف يمكن توصيف التغيرات اللحظية في الكميات المختلفة مثل الموضع والسرعة والتسارع؟ كيف يمكن توصيف حالة جسم في لحظة معينة؟ للجواب على هذه الأسئلة أدخل الرياضيون تصور الكميات اللامتناهية في الصغر. إن الكمية اللامتناهية في الصغر هي نتيجة ***سيرورة تناه***؛ هي نمطياً التحول في كمية بين لحظتين متتاليتين عندما يتناهى الزمن بين هاتين اللحظتين إلى الصفر. وبهذه الطريقة يُقسَم التغير الحادث إلى سلاسل غير منتهية من التغيرات اللامتناهية في الصَغر.

يمكن تعريف حالة متحرك في كل لحظة بموضعه (r) وسرعته (v) التي تعبر عن "ميله اللحظي" لأن يعدل موضعه وبتسارعه (a) ومرة أخرى "بميله اللحظي" ولكن الآن لأن يغير سرعته. إن السرعات والتسارعات اللحظية هي كميات متناهية limiting quantities وهي تقيس النسبة بين كميتين لامتناهيتين في الصغر: اختلاف (r) أو (v) خلال لحظة زمنية (Δt) وبين (Δt) عندما تتناهى (Δt) إلى الصفر. وهذه الكميات الناتجة هي "المشتقات بالنسبة للزمن"، ومنذ لايبنتز فإنها تكتب (v=dr/dt) و(a=dv/dt). وهكذا فإن التسارع هو مشتق مشتق $a = {d^2r}/{d^2t}$ يصبح مشتقاً ثانياً والمسألة التي تركز عليها فيزياء نيوتن هي حساب هذا المشتق الثاني أي التسارع الذي يتم في كل لحظة للنقاط التي تُكوِّن المنظومة. إن حركة كل من هذه النقاط في مدة زمنية معينة يمكن أن تحسب ***بالتكامل*** بجمع تغيرات في السرعة لامتناهية والحادثة في هذه المدة الزمنية. وأبسط الحالات عندما تكون (a) ثابتة (مثلاً لجسم يسقط سقوطاً حراً؛ (a) هي

ثابت الجاذبية g). وبشكل عام فإن التسارع نفسه يتغير مع الزمن، وعمل الفيزيائي هو التعين بدقة لطبيعة هذا التغير.

إن دراسة التسارع باللغة النيوتونية تعني تعيين مختلف "القوى" المؤثرة على نقاط المنظومة تحت الدراسة. ويقرر قانون نيوتن الثاني أن (F=ma) أي القوة المطبقة على أية نقطة هي متناسبة مع التسارع الذي تنتجه. والمسألة في حالة منظومة من النقاط المادية هي أكثر تعقيداً، حيث أن القوى المؤثرة في جسم ما هي معينة في كل لحظة بالمسافات النسبية بين أجسام المنظومة، وهكذا فهي تختلف في كل لحظة كنتيجة للحركة التي تنتجها هي ذاتها.

ويعبر عن المسألة في الديناميك بشكل مجموعة معادلات "تفاضلية" والحالة اللحظية لكل جسم من المنظومة يوصف بنقطة ويعرف بواسطة موضعها وسرعتها وتسارعها أي بالمشتق الأول والثاني للموضع. في كل لحظة فإن مجموعة قوى والتي هي دالة للمسافة بين نقاط المنظومة دالة r تعطي تسارعاً دقيقاً لكل نقطة؛ وتُحدِث التسارعات تغيرات في المسافات الفاصلة بين هذه النقاط ولذلك أيضاً في مجموعة القوى الفاعلة في اللحظة التالية.

وبينما تحدد المعادلات التفاضلية المسألة الديناميكية، فإن "تكاملها" يُمثّل ***حل*** المسألة. ويقود الحل إلى حساب ***المسارات*** ***trajectories*** r(t). وتحتوي هذه المسارات على كل المعلومات التي يعترف الديناميك أنها لازمة؛ وهي تقدم توصيفا تاما للمنظومة الديناميكية.

وهكذا فإن التوصيف يتضمن عنصرين: ***المواضع والسرعات*** لكل نقطة في ***لحظة واحدة*** عادة ما تدعى "اللحظة الابتدائية" ومعادلات الحركة التي تربط القوى الديناميكية بالتسارعات. ويبين تكاملُ المعادلات التفاضلية بدءاً من "الحالة الابتدائية" تتابعَ الحالات أي مجموعة المسارات للأجسام المكونة للمنظومة.

إن نجاح العلم النيوتوني يكمن في اكتشاف أن قوةً وحيدة هي الثقالة تعِّينُ معاً حركة الكواكب والمذنبات في السماء وحركة سقوط الأجسام نحو الأرض. ومهما كان زوج الأجسام المادية المعتبر فإن المنظومة النيوتونية تستدعي أنهما متعلقتان بذات قوة الجذب.وهكذا يبدو ديناميك نيوتن كُليّاً من جهتين. إن تعريف قانون الثقالة الذي يُوصِّف كيف تنجذب الكتل إلى بعضها لا يحوي أية إشارة لأي مقياس للظاهرة. وهو يمكن أن يطبق على حركة الذرات كما الكواكب، وكذلك على النجوم في مجرة. كل جسم مهما كان حجمه له كتلة ويتصرف وكأنه منبع قوى تفاعل نيوتونية.

وحيث أن قوى الثقالة تربط بين أي جسمين (لأجل جسمين كتلتهما(m) و(` m) وتفصلهما مسافة (r) فإن قوة الثقالة هي (***kmm`/r*** ٢) حيث (k) هي ثابت ثقالة نيوتن وتساوي: $6.67 cm^3 g^{-1} \sec^{-2} 10^{-8}$ والمنظومة الديناميكية الحقيقية الوحيدة هي الكون ككل. وأية منظومة ديناميكية محلية مثل منظومتنا الكوكبية يمكن فقط تحديدها بشكل تقريبي بإهمال القوى التي تأثيرها صغير جداً بالمقارنة مع تلك التي تدرس آثارها.

يجب التأكيد أنه مهما كانت المنظومة الديناميكية المختارة فإن قوانين الحركة يمكن دوماً التعبير عنها بالشكل (F=ma). ويمكن اكتشاف أنواع أخرى من القوى غير تلك التي للثقالة (وفي الواقع تم اكتشافها – مثل القوى الكهربائية في التجاذب والتنافر) وهي لهذا يمكن أن تُغيِّر في المحتوى التجريبي لقوانين الحركة، إلا أنها مع ذلك لن تغير في شكل هذه القوانين. ففي عالم الديناميك يتم التعرف على التغير من خلال التسارع أو التباطؤ. ويقود تكاملُ قوانين الحركة إلى المسارات التي تسير حسبها الجسيمات. وهكذا يتم التعبير عن قوانين التغير وتأثير الزمن على الطبيعة بحدود خواص المسارات.

والخصائص الأساسية لهذه المسارات هي ***القانونية والحتمية والعكوسية***. ولقد رأينا أنه لحساب مسار ما نحتاج بالإضافة إلى معرفتنا بقوانين الحركة إلى تعريف تجريبي لحالة لحظية مفردة للمنظومة. وعندئذ يستنتج القانونُ العام من هذه "الحالة الابتدائية" سلاسلَ الحالات التي تمر بها المنظومة عندما يتقدم الزمن تماماً كما يستنتج المنطق النتيجة من مقدمات أساسية. والملمح المدهش أنه متى عُرِفت القوى فإن أية حالة واحدة تكفي لتعريف المنظومة تماماً، ليس فقط مستقبلا ولكن ماضيا أيضاً. وهكذا فكل شيء معطى في كل لحظة، ويُعرِّف الديناميك كل الحالات على أنها متعادلة: تسمح كل منها بحساب كل الحالات الأخرى مع المسار الذي يربطها أكانت هذه الحالات في الماضي أم في المستقبل.

"كل شيء معطى"؛ هذه النتيجة للديناميك الكلاسيكي التي أكد عليها برغسون باستمرار هي التي تميز الواقع الذي يوصِّفه الديناميك. كل شيء معطى ولكن أيضاً كل شيء ممكن. والكائن الذي لديه القوة ليتحكم في منظومة ديناميكية يمكن أن يحسب الحالة الابتدائية الضرورية بطريقة يمكن للمنظومة فيها أن تصل تلقائياً إلى أية حالة معينة في زمن معين ما. إن عمومية القوانين الديناميكية هي موافقة لعشوائية الشروط الابتدائية.

لقد تم النص بوضوح على ***عكوسية*** المسار الديناميكي من قبل كل مؤسسي الديناميك. فمثلاً عندما وصف غاليليو أو هايغنز (Huyghens) نتائج التعادل بين السبب والنتيجة المفترضة كأساس لتطبيق الرياضيات على الحركة، فإنهم تمثلوا تجارب فكرية مثل نطوطة كرة مرنة على الأرض. وكنتيجة للانعكاس اللحظي للسرعة فإن جسماً كهذا سيعود إلى حالته الابتدائية. ويطلق الديناميك هذه الخاصية في العكوسية على كل التغيرات الديناميكية. وتوضح هذه

"التجربة الفكرية" المبكرة خاصية رياضية عامة للمعادلات الديناميكية. إن بنية هذه المعادلات تعني أنه إذا تم عكس سرعات كل النقاط في منظومة، فإن المنظومة "سترجع زمنياً إلى الوراء". وستعود المنظومة لتمر في كل الحالات التي مرت بها خلال التغير السابق. ويعرف الديناميك على أنه متعادل رياضياً التغيير مثل الانعكاس ($t \to -t$) عكس الزمن و($v \to -v$) عكس السرعة. ما قام به تغير ديناميكي يمكن لتغيير آخر معرَّفٌ بعكس السرعة أن يزيله، وبهذه الطريقة تماماً يعود إلى الشروط الابتدائية الأصلية.

تقود خاصة العكوسية هذه في الديناميك إلى صعوبة لم يُقدَّر مغزاها تماماً إلا بإدخال ميكانيك الكم. المنابلة والقياس هما لا عكوسان أساساً، وهكذا فإن العلم ***الفعال*** بالتعريف هو طارئ أو دخيل على العالم المثالي والعكوس الذي يُوصِّفه. يمكن من وجهة النظر العامة اعتبار العكوسية على أنها الرمز الأساسي "لغرابة" العالم الذي يوصِّفه الديناميك. كل إنسان معتاد على التأثيرات اللامعقولة عندما يُرجَع بفلم إلى الوراء – منظر مباراة يعاد بثها إلى شعلة البداية، محبرة محطمة يعاد جمعها ويعاد وضعها على الطاولة بعد أن كان الحبر قد اندلق منها يعاد إليها، الأغصان التي تعود إلى براعمها من جديد. هذه الأحداث في الديناميك الكلاسيكي تعتبر ممكنة كالأحداث المعتادة.

إننا معتادون على قوانين الديناميك الكلاسيكي التي تعلمناها في المدرسة إلى درجة أننا غالباً ما نخفق في الشعور بجرأة الفرضيات التي تقوم عليها هذه القوانين. في الحقيقة إن عالماً حيث كل المسارات قابلة للعكوسية هو عالم غريب حقاً. وهناك فرضية أخرى غريبة وهي الاستقلالية التامة للشروط الابتدائية عن قوانين الحركة. من الممكن أن نأخذ حجراً ونرمي به

بسرعة ابتدائية ما محددة بقوتنا الفيزيائية، ولكن ما هو الحال بالنسبة لمنظومة مثل غاز مكون من أعداد كبيرة من الجزيئات؟ إن من الواضح أننا لم نعد قادرين على أن نفرض شروطاً ابتدائية بشكل حر، بل يجب أن تكون الشروط الابتدائية ناتجةً عن التطور الديناميكي ذاته. وهذه نقطة هامة سنعود إليها في القسم الثالث من هذا الكتاب. ومع ذلك ومهما كان قصور الميكانيك الكلاسيكي وبعد ثلاثة قرون فإننا يمكننا فقط أن نعجب بتناسقه المنطقي وبقوة الوسائل التي اكتشفها المؤسسون الأوائل لهذا الديناميك.

الحركة والتغيير

لقد جعل أرسطو الزمن مقياساً للتغير، ولكنه كان مدركاً تماماً للتعددية النوعية للتغير في الطبيعة. ومع ذلك بقي في الديناميك نوع واحد من التغير "سيرورة" واحدة هي الحركة. إن التنوع الوصفي للتغير في الطبيعة قد اُختزِلَ إلى دراسة الحركة النسبية للأجسام المادية. والزمن هو العامل الذي تُوصَّف به تغيراتُ الحركة. وبهذه الطريقة تم ربط الزمان والمكان ارتباطاً لا فكاك منه في عالم الديناميك الكلاسيكي (راجع أيضاً للفصل التاسع).

من المفيد مقارنة التغير الديناميكي مع تصور الذريين للتغير، والذي كانت له شهرة واسعة عندما صاغ نيوتن قوانينه. ففي الواقع على ما يبدو فإن ديكارت وغاسيندي (Gassendi) وديلامبير(Alembert،D) وحتى نيوتن ذاته اعتقدوا أن التصادمات بين ذرات صلبة كانت المنبع الأساسي وربما الوحيد لتغيرات في الحركة[1]. ومع ذلك فإن الديناميك والوصف الجزيئي يختلفان بشكل أساسي. في الحقيقة إن الطبيعة المستمرة للتسارع التي تُوصِّفها

المعادلات الديناميكية هي متعارضة تماما مع المصادمات اللحظية والمتقطعة التي تحدث بين الجسيمات. ولقد لاحظ نيوتن أنه بالتعارض مع الديناميك فإن فقدانا للحركة لاعكوسا مُتضمَن في كل تصادم صلب. التصادم الوحيد العكوس – أي الوحيد الذي يتفق مع قوانين الديناميك – هو التصادم "المرن" والمحافظ على العزم. ولكن كيف يمكن للخاصية المعقدة "للمرونة" أن يتم تطبيقها على الذرات التي من المفترض أنها العناصر الأساسية للطبيعة؟

ومن جانب آخر، وعلى مستوى أقل تقنية، فإن قوانين ديناميك الحركة مناقضة للعشوائية التي تتصف بها عموماً التصادمات بين الذرات. لقد أشار الفلاسفة القدماء إلى أن أي "سيرورة" طبيعية يمكن أن تفسر بطرق عدة بحركة وتصادم الذرات. ولم تكن هذه مشكلة بالنسبة للذريين حيث أن جل اهتمامهم كان توصيف عالم خال من الألوهية والقانون وحيث الإنسان فيه حر ويمكن أن يتوقع أن لا يصيبه عقاب ولا ثواب من أي نظام إلهي أو طبيعي. ولكن العلم الكلاسيكي كان علم مهندسين وفلكيين، علم فعل وتوقع. ولا يمكن أن تلبي حاجاته التأملات القائمة على ذرات افتراضية. وفي المقابل فلقد قدمت قوانين نيوتن الوسائل للتوقع والمنابلة. وهكذا تصبح الطبيعة خاضعة للقوانين، طيعة وقابلة للتوقع بدلاً من أن تكون شواشية، متمردة ستوكاتية stochastic، ولكن ما هي العلاقة بين عالم فان وغير مستقر تتراكب فيه الذرات وتنفصل، وبين عالم ثابت ديناميكياً ومحكوم بقوانين نيوتن، حيث تتفتح صيغة رياضية واحدة، ممثلة لحقيقة أزلية ،نحو مستقبل متكرر ومتوقع؟ ونحن نشهد في القرن العشرين مرة أخرى الصدام بين القانونية والعشوائية في الحوادث التي كما أبان كورييه Koyré قد أقلقت ديكارت من قبل [٢] منذ نهاية القرن التاسع عشر ومع النظرية الحركية

للغازات فإن العشوائية الذرية قد عاد دخولها إلى الفيزياء ودخلت مسألة العلاقة بين القانون الديناميكي والوصف الإحصائي حتى أعماق الفيزياء. إنها أحد العوامل المفتاحية في التجديد المعاصر للديناميك (أنظر الكتاب الثالث).

إلا أنه ظهر هذا التعارض في القرن الثامن عشر وقد وصل إلى طريق مسدود. وهذا يمكن أن يفسر جزئيا شك بعض فيزيائي ذلك القرن فيما يتعلق بمغذى وصف نيوتن الديناميكي. لقد رأينا أن التصادمات تؤدي إلى فقدان الحركة ولهذا فإنهم قد استنتجوا أنه في هذه الحالات الغير مثالية لا تبقى "القدرة" محفوظة بل تتبدد ***لا عكوسياً*** (أنظر الفصل الرابع الفقرة ٣). ولهذا فإن الذريين لم يستطيعوا إلا أن يعتبروا الديناميك حالة مثالية ذات قيمة محدودة. ولقد قاوم فيزيائيوا ورياضيوا القارة مثل ديلامبير وكليرو Clairaut ولاغرانج Lagrange سحر النيوتونية الجذاب لفترة طويلة.

أين توجد جذور التصور النيوتوني للتغيير؟ إنها تبدو تركيباً[٣] من علم الآلات المثالية حيث تُنقَل الحركة دون تصادم أو احتكاك بين الأجزاء المتلامسة ومن علم الأجرام السماوية المتفاعلة عن بعد. لقد رأينا أنها تبدو على النقيض تماماً من المذهب الذري المبني على تصور التصادمات العشوائية. هل يبرر هذا الاعتقاد بأن الديناميك النيوتوني يمثل قَطْعاً (rupture) في تاريخ الفكر وأنه تجديد ثوري؟ وهو ما ادعاه المؤرخون الوضعيون عندما وصفوا كيف تخلص نيوتن من الأفكار السابقة وكانت لديه الشجاعة أن يستنتج من الدراسة الرياضية لحركات الكواكب وقوانين سقوط الأجسام عمل قوة "كلية". ونحن نعلم أنه على العكس فإن عقلانيي القرن الثامن عشر أكدوا على التشابه الظاهر بين قوى نيوتن "الرياضية" والصفات التراثية الإسرارية qualities occult. ولحسن الحظ لم يعرف هؤلاء النقاد

القصة الغريبة خلف هذه القوى النيوتونية! لأنه خلف إعلان نيوتن الحذر – "وأنا لا أضع فرضيات"– فيما يتعلق بطبيعة القوى كان يكمن اندفاعٌ سيميائي [٤]. وإننا نعرف الآن أنه بجانب دراسته الرياضية درس نيوتن السيمياء القديمة لثلاثين سنة وقام بتجارب حثيثة مخبرية لإيجاد طرق للحصول على النتيجة الشهيرة تركيب الذهب.

ذهب حديثاً بعض المؤرخين بعيداً لدرجة أنهم اقترحوا أن التركيب النيوتوني للسماء والأرض كان إنجاز كيميائي وليس إنجاز فلكي. القوة النيوتونية التي "تحرك إحيائياً" animating المادة، وبالمعنى القوي لهذا التعبير تقوم بتحريك كامل فعالية الطبيعة، هي وريثة القوى التي لاحظها ونابلها نيوتن "الميول" الكيميائية (chemical "affinities") المشكلة والمفككة أبداً لتركيبات من المادة[٥]. بالطبع يبقى الدور الحاسم الذي لعبته الأفلاك السماوية. ومع ذلك ففي البدء من دراسته الفلكية المعمقة –حوالي سنة ١٦٧٩ – توقع نيوتن على ما يبدو أن يجد قوىً جديدة للجاذبية فقط في السماوات ،قوى *شبيهة* بالقوى الكيميائية وربما أسهل في الدراسة رياضياً. وبعد انقضاء ست سنوات أنتجت دراسته الرياضية هذه نتيجة مفاجئة: القوى بين الكواكب وتلك التي تُسرِّع الأجسام الحرة الساقطة هي ليست فقط متشابهة بل هي نفسها. فالجاذبية ليست خاصة بكل كوكب؛ إنها ذاتها – للقمر الذي يدور حول الأرض وللكواكب وحتى للنيازك المارة داخل المجموعة الشمسية. لقد بدأ نيوتن يبحث في السماء عن قوى شبيهة بالقوى الكيميائية: العلاقات الكيميائية التي تختلف من مركب لآخر والتي تعطي لكل مركب خواص نشاط كيميائي مختلف، وما وجده في الواقع كان قانوناً عاماً كما أكد على ذلك والذي يمكن تطبيقه على كل الظواهر – أكانت طبيعتها كيميائية أم ميكانيكية أم سماوية.

وهكذا فالتركيب النيوتوني هو مفاجأة، إنه اكتشاف مذهل غير متوقع والذي كرسه العالم العلمي بجعل نيوتن رمز العلم الحديث. ما يبدو مدهشاً بشكل خاص هو أن الشيفرة الأساسية للطبيعة ظهرت وكأنها قد حلت بعمل وحيد خلاّق.

لقد كانت لوقت طويل هذه الفصاحة المفاجئة للطبيعة وهذا الانتصار لموسى الإنكليزي منبع فضيحة ثقافية لعقلانيي القارة (أوروبا القارية). لقد نُظِر إلى عمل نيوتن على أنه كشف تجريبي والذي يمكن لهذا نقضه تجريبياً. ففي سنة ١٧٤٧ وصل أولر Euler وكليرو ودولامبير الذين كانوا بدون شك بعضاً من أعظم علماء ذلك الزمن إلى ذات النتيجة: وهي أن نيوتن كان مخطئاً، وأنه تلزم لتوصيف حركة القمر صيغةٌ رياضية أكثر تعقيداً لقوة الجاذبية جاعلةً منها مجموع حدين. ولسنتين تاليتين اعتقد كل واحد منهم أن الطبيعة قد برهنت على خطأ نيوتن، وكان هذا الاعتقاد منبع نشاط وليس منبع انزعاج. وبعيداً عن اعتبار اكتشاف نيوتن مرادفاً للعلم ذاته فإن العلماء كانوا يتوقعون التخلي عنه نهائياً. ولقد ذهب دولامبير بعيدا في تعبيره عن البحث عن دليل ضد نيوتن ومعطياً له *"الرفسة الأخيرة للحمار" (le coup de pied de l`ane)* فقط صوت وحيد شجاع ظهر في فرنسة. ففي سنة ١٧٤٨ كتب بوفون (Buffon):

إن قانوناً فيزيائياً هو قانون بدلالة حقيقة أنه من السهل قياسه، وأن المقياس الذي يمثله ليس فقط دوماً ذاته، ولكنه أيضاً وحيد .... لقد قدم م. كليرو اعتراضاً على منظومة نيوتن، ولكنه على الأحسن هو اعتراض ولكنه لا يجب أن يكون ولا يمكن أن يكون مبدأ؛ يجب أن تجرى محاولة لتجاوزه وليس تحويله إلى نظرية التي لن تقوم نتائجها إلا على الحساب فقط؛ لأنه كما قلت يمكن للإنسان أن يمثل أي شيء بواسطة الحساب وأن لا يحصل على شيء؛ وإذا كان من المسموح إضافة حد أو أكثر لقانون فيزيائي مثل قانون الجاذبية، فإننا نضيف فقط إلى التعسفية بدلاً من تمثيل الواقع(٧).

لاحقاً أعلن بوفون لما سيصبح على الأقل لوقت قصير برنامج البحث في الكيمياء:

إن قوانين الميل الكيميائي (laws of affinity) التي بموجبها تنفصل مكونات مادة ما لتتراكب مع مكونات مادة أخرى لتشكل مواد متجانسة جديدة هي مشابهة للقوانين العامة التي تحكم الفعل المتبادل بين الأجرام السماوية: إنها تؤثر بنفس الطريقة وبنفس نسب الكتل والمسافات؛ إن نقطة من الماء أو الرمل أو المعدن تؤثر على نقطة أخرى بذات الطريقة التي تؤثر بها الكرة الأرضية على القمر؛ وإذا كانت قوانين الميل الكيميائي قد اعتبرت إلى الآن على أنها مختلفة عن تلك التي للجاذبية فإن ذلك يعود إلى أنها لم تفهم بشكل جيد ولم يتم التمكن منها حتى الآن؛ وإلى أن شمولية المسألة لم تؤخذ بالحسبان. فالشكل الذي في حالة الأجرام السماوية له تأثير خفيف أو ليس له تأثير على قانون التفاعل المتبادل بين الأجسام بسبب المسافات الكبيرة بينه هو على العكس مهم جداً عندما تصبح المسافات صغيرة أو تصبح صفراً... أولاد اخوتنا سيصبحون قادرين بالحساب أن يدخلوا إلى هذا الحقل الجديد للمعرفة (أي *استنتاج* قانون التفاعل المتبادل بين الأجسام الأولية من شكلها)[٨].

كان التاريخ يؤيد عالم الطبيعة الذي كانت القوة بالنسبة له ليست فقط حيلة رياضية ولكن ماهية العلم الطبيعي الجديد.. ولقد أُجبر الفيزيائيون أخيراً على الاعتراف بغلطهم. بعد ذلك بخمسين سنة يمكن للابلاس أن يكتب مؤلفه ***نظام العالم*** ***Système du Monde***. لقد تجاوز قانون الجاذبيةِ العام كل الامتحانات بنجاح: والحالات العديدة التي بدت مناقضة له حولت إلى برهان باهر لصحته. وبذات الوقت وبتأثير بوفون فإن الكيميائيين الفرنسيين أعادوا اكتشاف التشابه الغريب بين الجذب الفيزيائي والميل الكيميائي[٩]. وبالرغم من سخريات دولامبير

ووكوندياك Condillac وكوندرسيه Condorcet الذين كانت عقلانيتهم التي لا يمكن ثنيها غير متوافقة مع هذه "التشابهات" analogies فإن الكيميائيين الفرنسيين مشوا في طريق نيوتن ولكن بالاتجاه المعاكس – من النجوم إلى المادة.

في بداية القرن التاسع عشر أصبح البرنامج النيوتوني – إرجاع كل الظاهر الفيزيوكيميائية إلى تفاعل قوى (بالإضافة إلى قوة الجاذبية احتوت هذه على قوة التنافر للحرارة والتي تجعل الأجسام تتمدد وتحث على الانحلال، وكذلك القوى الكهربائية والمغناطيسية – البرنامج الرسمي لمدرسة لابلاس الذي ساد العالم العلمي في الوقت الذي ساد فيه نابليون في أوروبا [١٠].

شهد القرن التاسع عشر نشوء ***المدارس الكبرى*** الفرنسية وإعادة تنظيم الجامعات. وهذا هو الزمن الذي أصبح فيه العلماء أساتذة وباحثين مهنيين وأخذوا على عاتقهم تدريب من سيخلفهم[١١].إنه أيضا زمن المحاولات الأولى لتقديم مُركَّب من المعرفة ولتجميعه في كتب مدرسية وفي أعمال كتب شعبية.لم يعد العلم موضوع نقاش ***في الصالونات***؛لقد أصبح يُعلَّم أو يُكتَب عنه في أعمال شعبية[١٢]. لقد أصبح العلم موضوع إجماع مهني ومرجعية رئيسية، ولقد تمحور الإجماع الأولي حول منظومة نيوتن: وفي فرنسة انتصرت أخيراً ثقة بوفون على شكوك عقلانيي عصر التنوير.

وبعد قرن من تأليه نيوتن في انكلترا مازالت فصاحة هذه السطور التي كتبها ابن دولامبير تعكس صدى ما كتب على شاهدة قبر بوب (Pope) [١٣]:

معلناً قدوم مسيح العلم

فلقد طرد كبلر الغيوم من حول العرش.

ثم أصبحت الكلمة إنساناً كلمة الإله البصير

الذي قدسه أفلاطون، وسمي هذا الإنسان الكلمة بنيوتن.

لقد أتى وكشف عن المبدأ الشامل،

والأزلي والكلي واحدٍ أوحد كالله ذاته.

صمتت العوالم ونطق هو: الجاذبية.

وكانت هذه الكلمة هي كلمة الخلق ذاته.(*)

وبوقتٍ قصير والذي مع ذلك ترك بصمته التي لا تمحى أصبح العِلم منتصراً ومعترفاً به ومحترماً من قبل الحكومات الكبرى ومنادىً به على أنه مالك لتصور متسق للعالم. وأصبح نيوتن الذي كرسه لابلاس الرمز العام لهذا العصر الذهبي. وفي الحقيقة كانت لحظة مفرحة لحظة أصبح فيها ينظر إلى العلماء وهم ينظرون إلى أنفسهم على أنهم طليعة التقدم، عاملين في مشروع مدعوم ومتبنى من المجتمع كله.

ما هو مغذى التركيب النيوتوني اليوم، بعد ظهور نظريات الحقل والنسبية وميكانيك الكم؟ هذه مسألة معقدة، وسنعود إليها لاحقاً. إننا نعلم اليوم أن الطبيعة ليست دوماً "متوافقة ومتساوقة مع نفسها". فعلى المستوى الصغري (الميكرو) اُستبدِلَت قوانين الميكانيك الكلاسيكي بقوانين الكم، وبالمثل على مستوى الكون فلقد استبدلت فيزياء نيوتن بالفيزياء النسبية. مع ذلك تبقى الفيزياء الكلاسيكية نقطة العَّلام الطبيعية، وأكثر من ذلك في المعنى الذي عرفناه – في وصف المسارات السكونية الحتمية العكوسة – لا يزال يمكن أن يقال أن ديناميك نيوتن يُكِّون لُبَّ الفيزياء.

بالطبع منذ نيوتن تعرضت صياغة الديناميك الكلاسيكي لتغيرات كبيرة. كان هذا نتيجة عمل عدد من كبار الرياضيين والفيزيائيين من مثل

(*) مترجماً من الإنكليزية _ المؤلفان

هاملتون Hamilton وبوانكارييه Poincaré. باختصار يمكننا التفريق بين فترتين. كانت هناك أولاً فترة توضيح وتعميم، وفي الفترة الثانية فإن التصورات ذاتها التي يقوم عليها الديناميك الكلاسيكي مثل الشروط الابتدائية ومعنى المسارات تعرضت إلى مراجعة نقدية وحتى في الحقول التي (في مقابل ميكانيك الكم والنسبية) يبقى فيها الديناميك الكلاسيكي مشروعاً. في اللحظة التي نكتب فيها هذا الكتاب وفي نهاية القرن العشرين فإننا لا نزال في المرحلة الثانية. ولنعد الآن إلى اللغة العامة للديناميك الذي اكتشف من قبل علماء القرن التاسع عشر (في الفصل التاسع سنصف باختصار إحياء الديناميك الكلاسيكي في زماننا هذا).

لغة الديناميك

يمكن اليوم صياغة الديناميك الكلاسيكي بطريقة مدمجة وأنيقة. وكما سنرى فإن كل خصائص منظومة يمكن تلخيصها بعبارات ***دالة مفردة*** الهاملتونيان. تُظهِرُ لغة الديناميك اتساقاً واكتمالاً مدهشاً. يمكن وضع صياغة واضحة لكل مسألة "شرعية" legitimate. وليس من الغريب أن بنية الديناميك قد سحرت وأخافت الخيال منذ القرن الثامن عشر.

فالمنظومة ذاتها في الديناميك يمكن أن تدرس من عدة وجهات نظر مختلفة. وفي الديناميك الكلاسيكي وجهات النظر هذه كلها متعادلة بمعنى أنه يمكن الانتقال من إحداها إلى الأخرى بتحويل وبتغيير في المتحولات. ويمكننا التكلم عن تمثيلات representations مختلفة متعادلة تكون فيها قوانين الديناميك شرعية. وهذه التمثيلات المتعادلة المختلفة تشكل اللغة العامة للديناميك. يمكن استعمال هذه اللغة لتوضيح الصفة السكونية التي ينسبها الديناميك الكلاسيكي للمنظومات التي

يُوصِّفها:يبدو الزمن في أنواع عدة من المنظومات الديناميكية كشيء عارض فقط، حيث يمكن إرجاع توصيفها إلى منظومات ميكانيكية غير متفاعلة مع بعضها. لتقديم هذه التصورات بطريقة مبسطة نبدأ بمبدأ حفظ الطاقة.

في عالم الديناميك المثالي الخالي من الاحتكاك والصدم، للآلات كفاءة efficiency قيمتها واحد – المنظومة الديناميكية المكونة من الآلة تنقل الحركة التي تستقبلها بالكامل. وإن آلة تستقبل كمية معينة من الطاقة الكامنة (مثلاً نابضاً مضغوطاً أو ثقلاً مرفوعاً أو هواءً مضغوطاً) يمكن أن تنتج حركة "مُعادِلة" equal من حيث كمية الطاقة الحركية لكمية الطاقة الكامنة، تماماً الكمية اللازمة لإعادة الطاقة الكامنة التي استعملتها الآلة في إنتاج الحركة. أبسط الحالات هي تلك التي فيها القوة الوحيدة هي الجاذبية (والتي تنطبق على الآلات البسيطة مثل البكرات والروافع والكبستانات الخ) في هذه الحالة من السهل إقامة علاقة تعادل equivalence شاملة بين السبب والنتيجة. الارتفاع (h) الذي يسقط منه جسم ما، يعيين تماما السرعة الحاصلة أثناء السقوط. فإذا وقع جسم كتلته (m) رأسيا أو على سطح مائل أو تبع مساراً متعرجا فإن السرعة المتحصلة (v) والطاقة الحركية($mv^2/2$) تتعلق بفرق الارتفاع (h) ($v = \sqrt{2gh}$) وتمكن الجسم أن يعود إلى ارتفاعه الأصلي. فالعمل الواقع مقابل الجاذبية الأرضية المتضمنة في الحركة نحو الأعلى يعيد الطاقة الكامنة (mgh) التي فقدتها المنظومة أثناء السقوط. ومثال آخر النواس الذي تتناوب فيه الطاقة الكامنة والطاقة الحركية التحول إحداهما إلى الأخرى.

بالطبع إذا كنا بدلاً من سقوط جسم إلى الأرض نتعامل مع منظومة أجسام تتفاعل فإن الوضع سيصبح أقل سهولة في التصور ومع ذلك ففي كل لحظة فإن التغيير الإجمالي في الطاقة الحركية يعوض في التغيير في الطاقة الكامنة (حسب تغير المسافات بين نقاط المنظومة). وهنا أيضا تتحفظ الطاقة في منظومة معزولة.

الطاقة الكامنة (أو الكمون ويرمز له اتفاقاً بـــV) التي تعتمد على المواقع النسبية للجسيمات هي بالتالي تعميم للكمية التي مكنت بنَّائي الآلات من قياس الحركة التي يمكن للآلة أن تنتجها كنتيجة لتغير في تشكيلها المكاني (مثلاً التغير في ارتفاع كتلة m والتي هي جزء من من الآلة يعطيها طاقة كامنة mgh). بالإضافة إلى ذلك تسمح لنا الطاقة الكامنة أن نحسب مجموعة القوى المطبقة في كل لحظة على النقاط المختلفة للمنظومة موضوع الوصف. ففي كل نقطة مشتق الكمون بالنسبة للمحور (q) يقيس القوة المطبقة على هذه النقطة في اتجاه هذا المحور. وهكذا فبالإمكان صياغة قوانين نيوتن للحركة باستعمال دالة الكمون ككمية أساسية بدلا من القوة: والتغير في السرعة لكل نقطة مادية في كل لحظة (أو العزم (p) والذي يساوي جداء الكتلة بالسرعة) يقاس بمشتق الكمون بالنسبة للمحور (q) للكتلة.

عممت هذه الصيغة في القرن التاسع عشر بإدخال دالة جديدة الهاملتونيان (*H*) هذه الدالة هي ببساطة الطاقة الكلية، مجموع طاقة المنظومة الكامنة والحركية. ولكن هذه الطاقة لم يعد يعبر عنها بعبارات المواضع والسرعات والتي يرمز لها اتفاقاً بـــ (q) و(dq/dt) ولكن بعبارات ما سمي بالمتحولات ***القانونية (canonical)*** – إحداثيات وعزوم – التي يرمز لها بـــ q و p. في الحالات البسيطة مثل جزيء حر، هناك علاقة مباشرة بين السرعة والعزم (p=mdq/dt): ولكن عموما فالعلاقة أكثر تعقيدا.

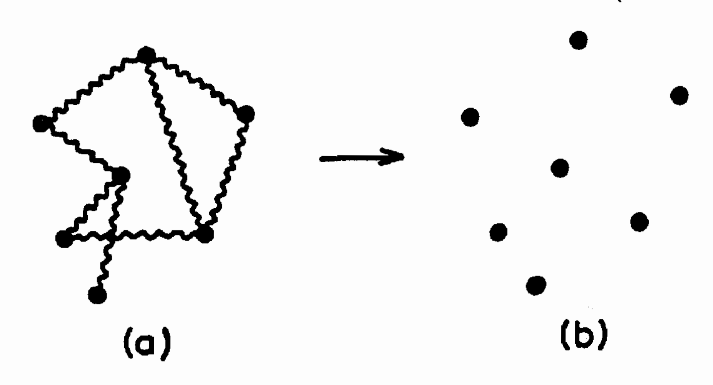
تُوصِّف دالة وحيدة *H*(p,q) الهاملتونيان ديناميكَ منظومة ***بشكل كامل***. وكل معرفتنا التجريبية ممثلة في الصيغة (*H*). ومتى عرفنا هذه الدالة فإنه يمكننا على الأقل من حيث المبدأ حل كل المسائل الممكنة. مثلا التغير الزمني لإحداثية ما وعزمها يعطيان بمشتقات (*H*) بالنسبة لـــ (p) أو (q). إن هذه الصياغة الهاملتونية للديناميك هي إحدى أعظم الإنجازات في تاريخ العلم. لقد تم توسيعها لتغطي

نظرية الكهرباء والمغناطيسية واستعملت أيضا في ميكانيك الكم. ومع أنه في ميكانيك الكم كما سنرى لاحقا اضطررنا لتعميم الهاملتونيان (H): فهنا لم يعد دالة بسيطة للإحداثيات والعزوم بل أصبح كيانا آخر مؤثراً operator. (وسنعود إلى هذا السؤال في الفصل السابع). وعلى كل فإن التوصيف الهاملتوني لا يزال مهما جدا حتى اليوم. المعادلات التي من خلال مشتقات الهاملتونيان تعطي التغير الزمني للإحداثيات والعزوم هي ما يدعى بالمعادلات القياسية. وهي تحوي الخواص العامة لكل التغيرات الديناميكية. وهذا نصرٌ في تطبيق الرياضيات على الطبيعة (ترييض الطبيعة). يمكن إرجاع كل التغيرات الديناميكية التي ينطبق عليها الديناميك الكلاسيكي إلى هذه المعادلات الرياضية البسيطة.

يمكننا باستعمال هذه المعادلات التحقق من الخواص العامة السابقة والمتضمنة في الديناميك الكلاسيكي. المعادلات القياسية هي ***عكوسة***: إن عكس الزمن هو معادل رياضيا لعكس السرعة. وهي ***انحفاظية*** : فإن الهاملتونيان الذي يعبر عن طاقة المنظومة بالمتحولات القياسية – الإحداثيات والعزوم – هو نفسه محفوظ بالتغيرات التي يحدثها خلال جريان الزمن.

لقد لاحظنا سابقا أن هناك عدة وجهات نظر أو" تمثيلات" يبقى فيها شكل معادلات الحركة في الهاملتونيان ثابتا. فهي تمثل خيارات مختلفة للإحداثيات والعزوم. إن أحد المسائل الأساسية في الديناميك هي في كيفية اختيار زوجي المتحولات القياسية (p,q) للحصول على أبسط وصف ديناميكي. فمثلا يمكننا أن نبحث عن متحولات قياسية يمكن بها أن يتم إرجاع الهاملتونيان إلى طاقة حركية وأن يتعلق فقط بالعزوم (وليس بالإحداثيات). ما هو جدير بالملاحظة في هذه الحالة هو أن العزوم تصبح هي ثوابت الحركة. في الحقيقة كما رأينا فإن التغير الزمني للعزوم يتعلق

حسب المعادلات القياسية بمشتق الهاملتونيان بالنسبة للإحداثيات. وعندما يختفي هذا المشتق (يصبح صفراً) فإن العزوم تصبح في الواقع ثوابت الحركة. وهذا شبيه لما يحدث لمنظومة "جسيم حر". الذي عملناه عندما ذهبنا إلى منظومة جسيم حر هو "حذف" التفاعل بواسطة تغيير في التمثيل وسنعرِّف المنظومات التي يكون فيها هذا ممكنا بـــ "المنظومات القابلة للتكامل"integrable systems. وهكذا فإن أي منظومة قابلة للتكامل يمكن أن تمثل كمجموعة وحدات كل واحدة منها تتغير منفردة، مستقلة تماماً عن كل الأخر في تلك الحركة الأزلية والثابتة التي عزاها أرسطو للأجرام السماوية.(الشكل ١)



(الشكل ١). تمثيلان لنفس المنظومة:

(a) كمجموعة نقاط متفاعلة؛ ويمثل التفاعل بخطوط متموجة

(b) كمجموعة حيث تتصرف كل نقطة مستقلة عن الأخريات. وحيث أن الطاقـــة الكامنة قد حذفت، فإن حركاتها لاتعتمد بشكل واضح على مواضعها النسبية.

لقد لاحظنا سابقا أنه في الديناميك "كل شيءٍ معطى" (everything is given) وهذا يعني أنه منذ اللحظة الأولى التي يتم فيها تثبيت المتحولات المختلفة للحركة، لا شيء "يحدث" أو "يحصل". وهنا نصل إلى إحدى اللحظات

الدرامية في تاريخ العلم لقد أرجع وصف الطبيعة تقريبا إلى صورة سكونية. ففي الواقع إن تغييرا حاذقا في المتحولات يمكن أن يجعل كل تفاعل يختفي. كان الاعتقاد أن المنظومات القابلة للتكامل الممكن إرجاعها إلى جسيمات حرة هي نماذج للمنظومات الديناميكية. ولقد حاولت أجيال من الفيزيائيين والرياضيين جاهدين إيجاد المتحولات "المناسبة" (right) لكل نوع من المنظومات الديناميكية التي يمكن بها إلغاء التفاعلات. أحد الأمثلة التي درست كثيرا مسألة الأجسام الثلاثة، ربما كانت المسألة الأهم في تاريخ الديناميك. وإحدى هذه الحالات حركة القمر التي تتأثر بالأرض والشمس معا. ولقد جرت محاولات عديدة للتعبير عنها بشكل منظومة قابلة للتكامل حتى نهاية القرن التاسع عشر عندما بين برنز Bruns وبوانكاريه أن هذا مستحيل. وكانت هذه مفاجأة وفي الواقع أعلنت نهاية كل التعميمات البسيطة في الديناميك والمبنية على المنظومات القابلة للتكامل. إن اكتشاف برنز وبوانكاريه يُظْهِرُ أن المنظومات الديناميكية ليست متماثلة isomorphic. إذا كان يمكن في الواقع إرجاع المنظومات القابلة للتكامل إلى وحدات غير متفاعلة مع بعضها ولكن عموما فإنه لا يمكن حذف التفاعلات. ومع أن ذلك الاكتشاف لم يفهم بوضوح في ذلك الزمن، ولكنه يعني نهاية الاعتقاد بأن عالم الديناميك هو عالم متجانس وقابل للإرجاع إلى تصور للمنظومات القابلة للتكامل. وهكذا قاومت الطبيعة ككثرة متفاعلة ومتطورة الإرجاع إلى مخطط كلي لا زمني.

كانت هناك دلالات أخرى تشير إلى ذات الاتجاه. لقد ذكرنا أن المسارات تتعلق بقوانين حتمية ومتى أعطيت حالة ابتدائية فإن قوانين ديناميك الحركة تسمح بحساب مسارات أية نقطة في الماضي والمستقبل. إلا أنه يمكن للمسار أن يصبح غير متعين أساسا في بعض النقاط الشاذة فمثلا

يمكن لنواس صلب أن يظهر نوعين مختلفين صفاتيا من السلوك - يمكنه النوسان أو الدوران حول نقاط تعليقه. إذا كانت الدفعة الأولية هي بدرجة كافية لأن تجعله يصل إلى وضعية الشاقول بسرعة صفر، فإن الاتجاه الذي سيسقط فيه وبذلك طبيعة حركته هي غير متعينة. إن اضطرابا لانهائيا في الصغر كاف لأن يجعله يدور أو ينوس من جديد (سنعود لدراسة مسألة كهذه في "اللاإستقرار" بشكل مفصل في الفصل التاسع)

إنه ذو مغذى أن ماكسويل قد أكد على أهمية هذه النقاط الشاذة. فبعد انفجار سلاح من القطن يتابع قائلاً:

في كل الحالات كهذه هناك ظرف مشترك - للمنظومة كمية من الطاقة الكامنة التي يمكن تحويلها إلى حركة ولكن لا يمكن البدء في هذا التحول حتى تصل المنظومة إلى تشكيل configuration معين والذي للوصول إليه يجب صرف جهد الذي كان ربما في بعض الحالات لانهائيا في الصغر، وعلى العموم لا يتناسب مع الطاقة الناشئة بسببه. فمثلا الصخرة التي بسبب ذوبان الجليد تقف متوازنة على نقطة شاذة على جانب الجبل، شرارة صغيرة تشعل الغابة الكبيرة، كلمة صغيرة تشعل صراعا عالميا، الهم الصغير الذي يمنع إنسانا من فعل ما يريد، البوغة الصغيرة التي تلفح محصول البطاطا. البزرة الصغيرة التي تجعل منا إما فلاسفة وإما حمقى. كل وجود فوق مستوى معين له نقاطه الشاذة: كلما ارتفعت الرتبة كلما كثرت النقاط. يمكن في هذه النقاط للتأثيرات التي قياسها الفيزيائي صغير جدا لأن يؤخذ بالاعتبار من قبل كائن متناه، أن تنتج نتائج مهمة جداً. كل النتائج العظيمة الناتجة عن محاولات الإنسان تعتمد على الاستفادة من هذه الحالات الشاذة عندما تقع.[١٤]

لم يحدث لهذا التصور تفصيل أكثر وذلك بسبب غياب التقنية الرياضية المناسبة للتعرف على المنظومات الحاوية على نقاط شاذة وغياب ما تقدمه

المعرفة الكيميائية والبيولوجية في هذه الأيام، وكما سنرى لاحقا إنها تقدم رؤى أعمق للوظيفة الأساسية التي تلعبها هذه النقاط الشاذة.

مهما يكن فمنذ أيام مونادات لايبنتز monads (انظر النتيجة في الفقرة ٤) وحتى اليوم الحاضر (فمثلا الحالات المستقرة للإلكترون في نموذج بور - أنظر الفصل السابع) فإن المنظومات القابلة للتكامل كانت النماذج المثال للمنظومات الديناميكية، وحاول الفيزيائيون تعميم خصائص ما هو في الواقع نوع خاص من المعادلات الهاملتونية لتغطي كل السيرورات الطبيعية. وهذا معقول تماما حيث أن صنف المنظومات القابلة للتكامل هو الوحيد فقط حتى الوقت الحاضر الذي تمت دراسته بشكل كامل. أضف إلى ذلك أن هناك دوما إعجاب بمنظومة مغلقة قابلة لطرح كل المسائل، على أن لا تعَّرف هذه المسائل على أنها لا معنى لها. وهكذا فالديناميك هو لغة؛ وحيث أنها كاملة فإنها بالتعريف متشاملة (coextensive) مع العالم الذي توِّصفه. وتفترض هذه اللغة أن المسائل أكانت بسيطة أم معقدة، تشبه بعضها حيث أنها دوما تعرض الشكل ذاته. ومن هنا الإغراء باستنتاج أن كل المسائل تشبه بعضها من وجهة نظر حلولها أيضا وأنه لا يظهر شيء جديد كنتيجة لتعقيد أقل أو أكثر في عملية التكامل. إن هذا التجانس الداخلي هو ما نعلم اليوم أنه خاطئ. أضف إلى ذلك كان منظور العالم الميكانيكي مقبولا طالما كانت مواضيع الملاحظة تشير بطريقة أو بأخرى إلى حركة. وهذا لم يعد قائما الآن. فمثلا للجسيمات اللا مستقرة طاقة يمكن أن تتعلق بالحركة ولكنها أيضا لها عمر وهذا نوع مختلف جدا من مواضيع المراقبة أشد ارتباطاً بالسيرورات اللاعكوسة كما سنوصفها في الفصل التاسع والعاشر. إن ضرورة إدخال مواضيع مراقبة جديدة إلى العلوم النظرية كان ومازال، أحد القوى الدافعة التي تدفعنا لنتجاوز المنظور الميكانيكي للعالم.

جني لابلاس

هناك رمزٌ للتعميمات الخارجية extrapolation من التوصيف المبحوث سابقا – إنه جني لابلاس، تخيله لابلاس قادراً في لحظة معطاة ما على ملاحظة موضع وسرعة كل كتلة من الكتل التي تشكل جزءا من الكون واستنتاج تطورهما معا وراءا إلى الماضي وأماما نحو المستقبل. لم يتخيل أي إنسان بأن فيزيائيا ما يمكنه يوما أن يستفيد من المعرفة التي يملكها هذا الجني. ولقد استعمل لابلاس هذه الرواية الخيالية ليبين حدود جهلنا والحاجة إلى توصيف إحصائي لبعض السيرورات. إن إشكالية جني لابلاس ليست متعلقة بالسؤال حول ما إذا كان ممكنا أن يكون هناك تنبؤ حتمي لمجرى الأحداث. ولكن فيما إذا كان ممكنا من حيث ***المبدأ*** ***(de jure)***. تبدو هذه الإمكانية مُتضَّمنة في التوصيف الميكانيكي بخاصته الثنائية المبنية على القانون الديناميكي والشروط الابتدائية.

إن حقيقة أن منظومة ديناميكية في الواقع محكومة ***بقانون*** حتمي وحتى إذا كان عمليا يمنع جهلنا للحالة الابتدائية من أية إمكانية لتنبؤ حتمي، تسمح "للحقيقة الموضوعية "للمنظومة كما يمكن أن يراها جني لابلاس أن تتميز عن القصورات التجريبية الناتجة عن جهلنا. يمكن أن يكون في إطار الديناميك الكلاسيكي عمليا الوصول إلى توصيف حتمي غير ممكن؛ ومع ذلك فإنه يقف ***كنهاية limit*** تُعِّرف مجموعة من التوصيفات المتزايدة الدقة.

إنه بالضبط هذا التوافق في الثنائية المشكلة من قانون الديناميك والشروط الابتدائية هو الذي يتحداه وينازعه إحياء الديناميك الكلاسيكي الذي

سنصفه في الفصل التاسع. سنرى أنه يمكن للحركة أن تصبح أكثر تعقيدا وللمسارات أن تصبح أكثر تنوعا لدرجة أنه لا توجد أية مراقبة مهما كانت دقتها يمكن أن تقودنا لتعيين الشروط الابتدائية الدقيقة. ولكن عند هذه النقطة تنهار الثنائية التي تم بناء الميكانيك الكلاسيكي عليها. يمكننا فقط التنبؤ بسلوك وسطي لحزَمٍ من المسارات.

لقد نشأ العلم نتيجة انهيار الحلف الأرواحي animistic aliance مع الطبيعة. بدا أن للإنسان مكان في عالم أرسطو كمخلوق حي وعارف. وكان العالم مخلوقاً على مقاسه. وأول تجربة حوار تلقت قسما من تبريراتها الاجتماعية والفلسفية من حلف آخر هذه المرة مع الإله العقلاني للمسيحية. وبسبب ما أصبح عليه الديناميك وما يزال نموذجا للعلم ، فإن بعضا من نتائج هذا الوضع التاريخي لا زالت حتى الآن.

لا يزال العلم الإعلان التنبئي لتوصيف العالم كما يُرى من منظور الوهة أو جني. إنه علم نيوتن، موسى الجديد الذي كُشِفَتْ له حقائق العالم؛ إنه علم ***كشفي revealed*** والذي يبدو غريباً عن أي إطار اجتماعي أو تاريخي يعرفه على أنه نتيجة فعالية مجتمع إنساني. هذا النوع من الخطاب الملهم نجده خلال تاريخ الفيزياء بأكمله. ولقد صاحب كل تجديد تصوري وكل ظرف بدت فيه الفيزياء على عتبة التوحد وقد أُسقِط قناع الوضعية الحذرة. أعاد الفيزيائيون تكرارا ما أعلنه ابن آمبير بوضوح: هذه الكلمة – الجاذبية العامة والطاقة ونظرية الحقل والجسيمات الأولية – هي كلمة الخلق ذاتها. في كل زمان – في زمن لابلاس وفي نهاية القرن التاسع عشر وحتى الآن – أعلن الفيزيائيون أن الفيزياء كتاب مغلق [أي تم تأليفه

أو كاد أن يصبح. بقي هناك معقل أخير حيث بقيت الطبيعة تقاوم، والذي سقوطه سيتركها دون دفاع، مهزومة وخاضعة لمعرفتنا. وهكذا كانوا دون معرفة يعيدون طقوس العقيدة القديمة. كانوا يعلنون ظهور موسى الجديد ومعه عصر في العلم يشبه العصر بعد نزول المسيح.

يمكن للبعض أن يرغبوا بعدم اعتبار هذا الإعلان التنبئي، هذا الحماس الساذج نوعا ما وإنه صحيح بالتأكيد، وإنه من الصحيح أن الحوار مع الطبيعة استمر على ذات المنوال مع البحث عن لغات نظرية جديدة وأسئلة وأجوبة جديدة. ولكننا لا نقبل بالفصل المتصلب بين عمل العالم "الفعلي "(actual) والطريقة التي يحاكم بها ويفسر ويوجه عمله. إن القبول بهذا سيكون إرجاعا للعلم إلى تجميع لا تاريخي لنتائج وعدم اكتراث لما يبحث عنه العلماء،و للمعرفة المثالية التي يحاولون الوصول إليها، وللأسباب التي تجعلهم يتنازعون أحيانا أو يبقون عاجزين عن التواصل مع بعضهم.[١٥]

كان آينشتاين هو الذي صاغ ثانية المعضلة الناتجة عن أسطورة العلم الحديث. لقد ذكر أن المعجزة، الملمح الوحيد المدهش حقا هو أن العلم موجود وأننا نجد تقاربا بين الطبيعة والعقل البشري. وبالمثل عندما في نهاية القرن التاسع عشر جعل دو بوا ريمون du Bois Reymond من جني لابلاس التجسيد لمنطق العلم الحديث وأضاف ignoramus ignorabimus "سنكون دوما جاهلين وسنبقى كلياً جاهلين "للعلاقة بين عالم العلم والعقل الذي يعرف ويدرك ويبدع العلم".[١٦]

تتكلم الطبيعة بآلاف الأصوات ولَّما نكد نبدأ بالاستماع. ومع ذلك فلقرنين كان جني لابلاس يعيث فساداً في مخيلتنا، محدثاً كابوساً حيث

كل الأشياء لا قيمة لها. إذا كان الواقع أن العلم هو بحيث أن جنياً كهذا - كائن مع ذلك شبيه بنا يملك ذات العلم ولكنه يملك حواساً أكثر دقة وقوى حسابية أكبر - يمكنه بادئاً من معرفة حالة لحظية أن يحسب مستقبلها وماضيها، إذا لم يكن هناك شيء يفرق نوعياً بين المنظومات البسيطة التي يمكننا توصيفها من الأخرى المعقدة التي هي بحاجة إلى جني، عندئذ فإن العالم عند ذاك ليس إلا حالة تحصيل حاصل tautology. هذا هو التحدي للعلم الذي ورثناه عن سابقينا، السحر الذي يجب أن نزيله اليوم.

الفصل الثالث

الثقافتــان

ديدرو وخطاب الأحياء

كتب نيسبت (Nisbet) في كتابه الممتع عن تاريخ فكرة التقدم ما يلي:

ليس هناك من فكرة مفردة كانت مهمة لحوالي ثلاث آلاف سنة ربما بأهمية فكرة التقدم في الحضارة الغربية [١].

لم يكن هناك أكثر دعماً لفكرة التقدم من تراكم المعرفة. هذا المنظر العظيم لتنامي المعرفة التدريجي هو في الواقع مثالٌ باهر لمسعى إنساني جمعي ناجح.

لنتذكر الاكتشافات الباهرة التي تمت في نهاية القرن الثامن عشر وبداية التاسع عشر: نظريات الحرارة والكهرباء والمغناطيسية والضوء. ليس من المدهش أن فكرة التقدم العلمي التي صيغت بوضوح في القرن الثامن عشر سادت القرن التاسع عشر، إلا أنه مع ذلك وكما ذكرنا: بقي موقع العلم في الثقافة الغربية غير مستقر. وهذا يعطي معلماً دراميًا لتاريخ الأفكار من وجهة النظر المتسامية لعصر التنوير.

لقد ذكرنا سابقاً الخيار الآخر: القبول بالعلم مع ما يبدو من نتائج مُغربِّة alienating أو الرجوع إلى ميتافيزياء معادية للعلم. ولقد بيّنا العزلة التي يشعر بها الإنسان الحديث وشعور الوحدة الذي وصفه باسكال Pascal وكيركغارد Kierkegaard ومونو، وذكرنا النتائج المعادية للعلم في ميتافيزياء هايدغر Heidegger. والآن نريد أن نناقش أكثر بعض مظاهر التاريخ الثقافي للغرب من ديدرو وكانط وهيجل حتى وايتهد وبرغسون وكلهم حاولوا تحليل وتحديد مجال العلم الحديث كما حاولوا أيضاً افتتاح منظورات perspectives جديدة نُظِر إليها على أنها غريبة جذرياً عن العلم. ومن المتفق عليه عموما الآن أن معظم هذه المحاولات قد فشلت. مثلاً يقبل القليل الآن تقسيم كانط للعالم إلى دوائر من الظواهر والأشياء بذاتها أو بحدس intuition برغسون كمسار خياري آخر للمعرفة يمكن أن يكون موازيا في القيمة للعلم. مع ذلك تبقى هذه المحاولات جزءا من إرثنا. ولا يمكن فهم تاريخ الأفكار دون الرجوع إليها.

سنناقش أيضا باختصار الوضعية العلمية التي بنيت على التمييز بين ما هو صحيح وبين ما هو مفيد علميا. يبدو للوهلة الأولى وكأن هذا المنظور الوضعي يعارض بوضوح الآراء الميتافيزيائية التي ذكرناها، الآراء التي وصفها برلين (I.Berlin) على أنها "معادية للتنوير". مع ذلك فإن نتيجتها الأساسية هي نفسها: يجب أن نرفض العلم كأساس للمعرفة الحقيقية حتى ولو كنا في نفس الوقت نعترف بأهميته العملية إلا أننا نرفض،كما يفعل الوضعيون، إمكانية أي مشروع معرفي آخر.

يجب أن نتذكر كل هذه التطورات حتى نفهم ما هو على المحك. إلى أي مدى يكون العلم أساساً لمفهومية intelligibility الطبيعة بما فيها الإنسان؟ ما هو معنى فكرة التقدم اليوم؟

بالتأكيد إن ديدرو وهو أحد عمالقة لغة التنوير ليس بممثل للفكر المعادي للعلم. على العكس فإن ثقته بالعلم وبإمكانيات المعرفة كانت ثقة كاملة. ومع ذلك فإنه لهذا السبب كان على العلم حسب ديدرو أن يفهم الحياة قبل أن يأمل بالوصول إلى رؤية متسقة للطبيعة.

لقد ذكرنا سابقاً أن مولد العلم الحديث كان مطبوعاً بالتخلي عن الوحي الإحيائي vitalist inspiration وبخاصة عن الأسباب النهائية الأرسطية. إلا أنه بقيت مسألة التنظيم في المادة الحية التي أصبحت التحدي للعلم الكلاسيكي. ويؤكد ديدرو في زمن أكبر نصر للنيوتونية أن المسألة كانت تُكبَت من قبل الفيزياء. وهو يتخيلها على أنها كابوس في أحلام الفيزيائيين الذين لم يكونوا قادرين على إدراكها عندما يكونون في حالة اليقظة. ويحلم الفيزيائي دولامبير:

"نقطة حية... كلا هذا خطأ. لاشيء أبداً للبدء به، ثم نقطة حية،ثم تتصل هذه النقطة الحية بأخرى ثم أخرى ومن هذه الاتصالات المتتالية ينتج كائن مُوحَّد، لأني وحدة، وأنا أكيد من هذا...(وعندما قال هذا تلمس ذاته) ولكن كيف حدثت هذه الوحدة؟"

"والآن اسمع أيها الفيلسوف يمكنني فهم كومة أو نسيج من أجسام صغيرة حساسة، ولكن حيوان.!

... ولكن مجموعاً كاملاً أو منظومة كوحدة، فرداً شاعراً بوحدته الذاتية لا يمكنني أن أرى ذلك، لا يمكنني أن أرى ذلك."(٢)

يقول ديدرو في محادثة متخيلة مع دولامبير بالضمير الأول مبينا عدم كفاية التفسير الميكانيكي:

أنظر إلى هذه البيضة: بها يمكنك قلب كل مدارس اللاهوت وكل كنائس العالم. ما هي هذه البيضة؟ كتلة غير حساسة قبل أن توضع بها البذرة ... كيف

تتطور هذه الكتلة إلى تنظيم جديد وإلى حساسية للحياة؟ بالحرارة. ما الذي تنتجه الحرارة فيها؟ حركة. ماذا ستكون عليه الآثار المتتالية لهذه الحركة؟ بدلا من الإجابة على تساؤلاتي اجلس ودعنا نلاحق هذه الآثار بأعيننا من لحظة لأخرى أولا هناك لطخة تتحرك ثم خيط ينمو ويأخذ لونا ثم يتشكل اللحم ثم المنقار ثم أطراف الأجنحة ثم العيون وها هي الأرجل تظهر وتظهر مادة صفراء تنتفخ وتصبح أمعاء - وها أن لديك كائن حي ... والآن ينكسر الجدار وينبثق الطائر، يمشي ويطير ويحس بالألم ويهرب بعيدا ثم يرجع ثانية ويشكو ويتألم ويحب ويرغب ويتمتع ويحس بعواطف مثلك ويفعل كل الأشياء التي تفعلها. هل تبقى على رأيك مع ديكارت أنها آلة مقلدة بكل بساطة؟ ما ذا حتى الأطفال سيضحكون منك وسيقول الفلاسفة إذا كانت آلة فأنت أيضا آلة !. وإذا مع ذلك قبلت أن الفرق الوحيد بينك وبين الحيوان هو فرق في التنظيم، فإنك ستُظهر فهما وعقلانية' وتكون قد تصرفت بنية سليمة؛ ولكن حينذاك سيتم استنتاج عكس ما قلت. أنه من المادة الهامدة المنظمة بطريقة معينة وملقحة من مادة أخرى هامدة معرضة للحرارة والحركة، ستحصل على حساسية وحياة وذاكرة وشعور وعواطف وفكر... فقط استمع إلى حججك وستشعر كم هي سخيفة. وستشعر أنه برفضك فرضية بسيطة والتي تفسر كل شيء -الحساسية كخاصية لكل مادة أو كنتيجة لتنظيم المادة-فإنك تطير عكس الذوق السليم وتغرق في هاوية من الأوهام والتناقضات والسخافات."(٣)

في تعارض مع الميكانيك العقلي rational mechanics ومع الادعاء بأن الطبيعة المادية ليست إلا كتلة هامدة وحركة، فإن دبدرو يستشهد بأحد مصادر الإلهام القديمة للفيزياء وبخاصة نمو وتمايز وتنظيم الجنين. يتشكل اللحم وكذلك المنقار والعيون والأمعاء؛ يحدث تنظيم متدرج في "الفضاء"

البيولوجي من المحيط الذي يبدو متجانساً، تظهر أشكال متمايزة في اللحظة المناسبة والمكان المناسب بتأثير عمليات معقدة ومتساوقة coordinated.

كيف يمكن لمادة هامدة وحتى لكتلة نيوتونية مفعّلة بقوى الجاذبية أن تكون نقطة الانطلاق لبنى محلية منظمة وفاعلة؟ لقد رأينا أن المنظومة النيوتونية هي منظومة عالمية: ليس لأي تشكيل configuration من الأجسام أن يدعي هوية خاصة؛ ليس هناك إلا تجاور عشوائي بين أجسام متواصلة بعلاقات عامة.

ولكن ديدرو لا ييأس - العلم ليس إلا في البداية؛ والديناميك العقلاني هو أول محاولة زائدة التجريد. وإن منظر الجنين كاف لأن ينقض ادعاءاته بالشمولية. وهذا هو السبب الذي دفع ديدرو لأن يقارن أعمال "الرياضيين" الكبار -أمثال أولر وبرنوييه ودولامبير بأهرامات المصريين شهادات تأخذ بالروع لعبقرية بناتها وهي تقبع الآن آثارا لا حياة فيها وحيدة بائسة. العلم الحي والمنتج سيتم في مكان آخر(٤).

بالإضافة إلى ذلك فإنه يبدو لديدرو أن هذا العلم الجديد للمادة الحية المنظمة قد بدأ. فصديقه دهولباخ d'Holbach منهمك يدرس الكيمياء وديدرو ذاته اختار الطب. والمسألة في الكيمياء كما في الطب هي في استبدال المادة الهامدة بمادة ***فعالة active*** قابلة لأن تنظم ذاتها وأن تنتج كائنات حية. يدعي ديدرو أن المادة يجب أن تكون حساسة. حتى الحجر ذاته له إحساس بمعنى أن الجزيئات التي تكونها تبحث عن بعض التركيبات بدلا من أخرى وهكذا هي محكومة برغباتها وكراهيتها. وحساسية المتعضية ككل هي ببساطة مجموع حساسيات أجزائها' تماما كسرب النحل بسلوكه المتسق حيث هو نتيجة التفاعل بين نحلة وأخرى؛ ويستنتج ديدرو أنه لا وجود للروح الإنسانية تماما كما لا يوجد روح لخلية نحل(٥).

إن احتجاج ديدرو الحيوي على الفيزياء والقوانين العامة للحركة ينتج عن رفضه لأي شكل من الروحانية الثنائية. يجب أن توصَّف الطبيعة بصورة يصبح فيها وجود الإنسان ذاته قابلاً للفهم. وإلا' وهذا ما يحدث في المنظور الميكانيكي للعالم' فإن التوصيف العلمي للطبيعة سيكون له مقابل في الإنسان كإنسالي automaton له روح وهكذا فهو غريب عن الطبيعة.

الأساس الثنائي للمادية الطبيعية، الكيميائية والطبية معاً الذي يستخدمه ديدرو ليعاكس فيزياء عصره يتكرر في القرن الثامن عشر. وعندما تفكر البيولوجيون في الحيوان - الآلة وفي الوجود السابق للنطف وفي تسلسل المخلوقات الحية - وكلها مسائل قريبة من اللاهوت(٦) - كان على الفيزيائيين والكيميائيين أن يواجهوا مباشرة تعقيدات العمليات الحقيقية في كلا الكيمياء والحياة. كانت الكيمياء والطب عموماً في القرن الثامن عشر علوماً مفضلة للذين قاتلوا ضد ***روح المنظومة*** ***esprit de systeme*** التي لدى الفيزيائيين لصالح علم يأخذ بالحسبان تنوع العمليات الطبيعية. يمكن لفيزيائي أن يكون ***روحاً*** ***esprit*** خالصة أو طفلاً نابغاً ولكن يجب على الطبيب أو الكيميائي أن يكون رجل تجربة: يجب أن يكون قادراً على حل الإشارات وأن يلحظ الدلالات. وبهذا المعنى فإن الكيمياء والطب هما من نوع الفنون، وهما يتطلبان حكمة ومثابرة وملاحظة عنيدة. الكيمياء هي هوس مجنون، ولقد أنهى فينيل Venel مقالة كتبها لدائرة معارف ديدرو ***Encyclopedie*** بدفاع فصيح عن الكيمياء ضد الإمبريالية المجردة للنيوتونيين(٧). وللتأكيد على أن الاحتجاجات التي قام بها كيميائيون وأطباء ضد الطريقة التي أرجع بها الفيزيائيون العمليات الحياتية إلى آليات مسالمة وللتطور الهادئ للقوانين العامة في أيام ديدرو نستحضر الشخصية البارزة لشتال Stahl، الأب الروحي للمذهب الحيوي ومخترع أول منهجية كيميائية متسقة.

برأي شتال Stahl تتطبق القوانين العامة على الأحياء فقط بمعنى أن هذه القوانين تحكم عليهم بالموت والتحلل؛ فالمادة التي تتشكل منها المخلوقات الحية هشة وهي قابلة للتحلل بسهولة، بحيث أنها لو كانت محكومة فقط بقوانين المادة العامة فإنها لن تقاوم الفساد والتحلل للحظة. وإذا كان لمخلوق حي أن يستمر في العيش بالرغم من القوانين العامة للفيزياء مهما كانت حياته قصيرة بالمقارنة بتلك التي لحجر أو لمادة غير حية فإن عليه أن يمتلك بداخله "بمبدأ انحفاظ" يبقي التوازن المتناغم لنسيج وبنية جسده. وإن طول حياة الجسم الحي بالمقارنة مع قابلية التفسخ الشديدة للمادة المكونةله لدليل على عمل"مبدأ طبيعي دائم ومفارق"، natural permanent immanent principle وعلى سبب خاص غريب عن قوانين المادة اللاحية والذي يجاهد بثبات ضد التفسخ الفعال الذي تحتمه هذه القوانين(٨).

يبدو لنا هذا التحليل للحياة قريباً وبعيداً، إنه قريب منا بإدراكه لفرادة وحرج الحياة، وهو بعيدٌ لأن ستال مثل أرسطو عرَّف الحياة بعبارات سكونية بعبارات انحفاظ وليس بعبارات صيرورة أو تطور. ومع ذلك فإننا نجد التعابير التي استعملت من قبل ستال في أعمال بيولوجية معاصرة؛ مثلاً عندما نقرأ أن الأنزيمات "تصارع" التحلل وتسمح للجسم أن يتحاشى الموت الذي هو المصير الحتمي الذي تقود إليه الفيزياء. وهنا أيضاً يتحدى التنظيم البيولوجي قوانين الطبيعة، والميل الوحيد "المعتاد" normal هو الذي يقود إلى الموت (أنظر الفصل الخامس).

في الحقيقة إن حيوية ستال هي مناسبة طالما أن قوانين الفيزياء تتطابق مع التطور نحو الموت والتفكك. واليوم أُستبدِل "المبدأ الحيوي" بسلسلة متتالية من الطفرات الغير محتملة والمحفوظة في الرسالة الوراثية التي "تحكم" البنية الحية. إلا أن بعض التعميمات بدءاً من البيولوجية

الجزيئية تُبعِد الحياة إلى حواف الطبيعة - أي تختم أن الحياة مؤتلفة مع القوانين الأساسية للفيزياء ولكنها طارئة تماماً. ولقد بيَّن مونو ذلك بوضوح: "الحياة لا تنتج عن القوانين الفيزيائية، ولكنها مؤتلفة معها. الحياة حدث يجب أن نعترف بفرادته"، ولكن الانتقال من المادة إلى الحياة يمكن أن يُرَى بطريقة أخرى. كما سنرى فإنه بعيداً عن التوازن تنشأ عمليات تنظيم ذاتي (هذه الأسئلة ستدرس بالتفصيل في الفصل الخامس والسادس)، ويبدأ التنظيم البيولوجي بهذه الطريقة بالظهور على أنه سيرورة ***طبيعية***.

إلا أنه قبل هذه التطورات بزمن طويل كان قد تم تحويل إشكاليات الحياة. في أوروبا المحولة ثقافياً أعيدت نمذجة المشهد الثقافي عندما ظهرت الحركة الرومانتيكية المتعلقة بشكل وثيق بالحركة المعادية للتنوير.

انتقد ستال مثال الأنسالي لأنه لا يشبه الكائن الحي حيث لا يوجد فيه هدف الإنسان؛ وتنظيمه مفروضٌ عليه من صانعه. أما ديدرو فبعيداً عن أن يضع دراسة الحياة خارج إمكانية العلم، رأى فيها ممثلة لمستقبل علم اعتبره لا يزال في طفولته. وبعد عدة سنوات سيظهر تحد لهذه الآراء(٩). لقد أصبح الآن التغير الميكانيكي والفعالية التي توِّصفها قوانين الحركة مرادفة للاصطناعي وللميت. في مقابل ذلك توحدت في وحدة معقدة مألوفة تماماً لنا الآن تصورات الحياة والتلقائية والحرية والروح. وكان هذا التعارض موازياً للتعارض مابين الحساب والمنابلة من جهة وفعالية التأمل الحر للعقل من جهة أخرى. فمن خلال التأمل يصل الفيلسوف إلى الفعالية الروحية في قلب الطبيعة، أما بالنسبة للعالم فإن اهتمامه بالطبيعة سيتقلص إلى اعتبارها مجموعة من الأشياء القابلة للمنابلة والقياس؛ وهكذا سيكون قادراً على امتلاك الطبيعة والسيطرة عليها والتحكم بها ولكن دون الفهم، وهكذا ستكون قابلية فهم الطبيعة خارج قدرة العلم.

لسنا هنا مهتمين بتاريخ الفلسفة ولكن بالتأكيد فقط على الدرجة التي أصبح فيها النقد الفلسفي للعلم من الشراسة مشابهة لبعض الأشكال الحديثة من الحركات المعارضة للعلم. لم يعد الأمر يتعلق بدحض تعميمات قصيرة النظر وساذجة والتي تُكَرر بصوت عال – باستعمال عبارات ديدرو – وتُضحِك حتى الأطفال، ولكن بدحض نوع المقترب الذي أنتج معرفة تجريبية ورياضية بالطبيعة. لم تُنتَقَد المعرفة العلمية لقصوراتها ولكن لطبيعتها، ويتم الإعلان عن معرفة ***منافسة*** مبنية على مقترب آخر. ولقد تشظت المعرفة إلى نموذجين للبحث متعارضين.

من منظور فلسفي فإن الانتقال من ديدرو إلى الرومانتكيين وبدقة أكبر من أحد هذين النوعين من المواقف من العلم إلى الآخر يمكن أن نجده لدى فلسفة كانط المتعالية transcendental، والنقطة الأساسية هي أن النقد الكانطي قد دمج العلم على العموم مع تحققه النيوتوني. ولهذا دمغ أية معارضة للعلم الكلاسيكي والتي لا تكون معارضة للعلم ذاته بأنها مستحيلة. ولهذا فإنه يجب النظر لأي نقدٍ للفيزياء النيوتونية على أنه تحقير للفهم العقلاني للطبيعة لصالح شكل آخر من المعرفة، ومقترب كانط له انعكاسات كبيرة ماتزال حتى يومنا الحاضر. لذلك لنلخص وجهة نظره كما قدمها في ***نقد العقل المحض*** ***Critique of Pure Reason*** والتي بالنقيض من الآراء المتقدمة لعصر التنوير تمثل التصور المغلق والمحدود للعلم الذي عرفّناه.

مصادقة (ratification) كانط النقدية

كيف يمكن إعادة النظام في المنظور الثقافي الذي أصبح فوضىً باختفاء الإله مُصوّراً على أنه المبدأ العقلاني الذي يربط العلم بالطبيعة؟ كيف يمكن للعلماء أن يكون لهم مدخل إلى الحقيقة الشاملة عندما يصبح غير ممكن

إلا مجازاً التأكيد على أن العلم سَيفكُ شيفرة كلمة الخلق؟ أصبح الإله صامتاً أو على الأقل لم يعد يتكلم نفس اللغة التي يستعملها العقل البشري. بالإضافة إلى ذلك ماذا يبقى من تجربتنا الذاتية في طبيعة حُذف منها الزمن ؟ ما هو معنى الحرية والقدر أو القيم الأخلاقية؟

لقد ناقش كانط أن هناك مستويين من الواقع: مستوى ظواهري phenomenal وهو متعلق العلم ومستوى الشيء في ذاته noumenal ومتعلقه الأخلاق. النظام الظواهري هو من اختراع العقل البشري، أما عالم الأشياء في ذاتها فإنه يتجاوز الفكر البشري وهو يتعلق بواقع ديني يدعم الحياة الأخلاقية والدينية. بطريقة ما فإن حل كانط هو الحل الوحيد الممكن لأولئك الذين يؤكدون على وجود واقعٍ للأخلاق وواقعٍ للعالم الموضوعي معاً كما عبر عنه الميكانيك الكلاسيكي. بدلاً من الله أصبح الإنسان الآن هو منبعَ النظام المُشاهد في الطبيعة. وكانط يبرر معاً المعرفة العلمية واغتراب الإنسان عن عالم الظواهر الذي يُوصِّفه العلم. من هذا المنظور نرى أن فلسفة كانط تهجي بوضوح المحتويات الفلسفية للعلم الكلاسيكي.

يعرِّف كانط موضوع الفلسفة النقدية على أنه ***متعال transcendental***. وهو(موضوع الفلسفة) لا يهتم بمواضيع التجربة ولكنه مبني على حقيقة قبلية a priori وهي أن المعرفة المنهجية لهذه المواضيع ممكنة (وهذا يُبرهن عليه بالنسبة له بوجود الفيزياء) ويتابع كانط بذكر الشروط القبلية لإمكانية هذا النموذج من المعرفة.

للقيام بذلك يجب القيام بتمييز بين الإحساسات المباشرة المستقبلة من العالم الخارجي والحالة "العقلانية" الموضوعية للمعرفة. ليست المعرفة الموضوعية سلبية إذ إنها تشكل موضوعاتها، وعندما نأخذ ظاهرة ما كموضوع تجربة، فإننا

نفترض قبلياً قبل أن نجري التجربة بالفعل أنها تخضع لمجموعة من المبادئ المعطاة. وللحد الذي ندركها على أنها موضوع ممكن للمعرفة، فإنها بذلك تكون ناتج فعالية عقلنا التركيبية. إننا نجد أنفسنا في مواضيع معرفتنا، والعالِم نفسه هو منبع القوانين الكلية التي يكتشفها في الطبيعة.

إن الشروط القبلية للتجربة هي أيضاً الشروط لوجود مواضيع التجربة. هذه العبارة الشهيرة تلخص "الثورة الكوبرنيكية" التي توصل إليها بحث كانط "المتعالي". فالذات لم تعد "تدور" حول موضوعها لتكشف القوانين التي تحكمها (الموضوع) أو اللغة التي يمكن بها فك شيفرتها؛ الذات الآن هي في المركز تفرض قوانينها، والعالم المدرك يتكلم لغة الذات. لهذا ليس عجيباً أن العلم النيوتوني قادرٌ على أن يوصِّف العالم من منظور خارجي يكاد يكون إلهياً!

إن كون كل الظواهر المدركة محكومة بقوانين عقلنا لا تعني أن معرفة فعلية لهذه المواضيع ليس لها فائدة، فبالنسبة لكانط لا يقوم العلم بحوار مع الطبيعة ولكنه يفرض عليها لغته. ولكن لايزال عليه في كل حالة اكتشاف الرسالة المعبر عنها باللغة العامة. إن معرفةً قبلية بالتصورات فقط هي عبثية وفارغة.

من وجهة النظر الكانطية فإن جني لابلاس رمز الأسطورة العلمية هو وهم ولكنه ***وهم عقلاني*** rational illusion. ومع أنه ناتج عملية تناهي limiting process وهو بهذا غير شرعي فهو مع ذلك التعبير عن اعتقاد شرعي هو القوة الدافعة للعلم – الاعتقاد أن الطبيعة بالكامل هي حقاً خاضعة للقوانين التي ينجح العلماء في فك شيفرتها. أين ما اتجه العلم ومهما كانت تساؤلاته فإنه سيحصل إن لم يكن على نفس الأجوبة فعلى الأقل على نفس النوع من الأجوبة. يوجد علم نحو كلي يحوي كل الأجوبة الممكنة.

وهكذا تصادق الفلسفة المتعالية على إدعاء الفيزيائيين بأنهم قد وجدوا الشكل النهائي لكل معرفة إيجابية. وبذات الوقت وفر هذا للفلسفة موقعاً مهيمناً بالمقارنة مع العلم. ولم يعد ضرورياً البحث في مغذى نتائج الفعالية العلمية. من وجهة النظر المتعالية لا يمكن لهذه النتائج أن تقود إلى أي شيء جديد فعلياً. والعلم هو موضوع الفلسفة و ليس نتائجه ؛ وُيقدِّم العلم' معتبراً على أنه مشروع كرور repetitive ومغلق' الأساسَ المتين للتأمل المتعالي.

ولهذا مع أن فلسفة كانط النقدية تصادق على دعاوى العلم فإنها تقصر الفعالية العلمية على مسائل يمكن اعتبارها سهلة ودون جدوى. إنها تحكم بالعلم أن يقتصر على العمل الممل في فك شيفرة اللغة المطردة للظواهر بينما تحتفظ لنفسها بالمسائل التي تتعلق "بالقدر" الإنساني: ما يمكن للإنسان أن يعرفه، ما الذي يفعله، ما الذي يأمله. والعالم الذي يدرسه العلم والذي هو في متناول المعرفة الإيجابية هو "فقط" عالم الظواهر. ليس فقط لا يستطيع العالم أن يعرف الأشياء بذاتها، ولكن حتى الأسئلة التي يطرحها لا علاقة لها بالمسائل الحقيقية للبشرية. الجمال والأخلاق والحرية لا يمكن أن تكون موضوع معرفة إيجابية، إنها تنتمي إلى عالم الأشياء بذاتها والذي هو مجال الفلسفة وهي لا علاقة لها بعالم الظواهر.

يمكن أن نقبل نقطة البدء عند كانط ، تأكيده على الوظيفة الفعالة التي يلعبها الإنسان في التوصيف العلمي. لقد قبل الكثيرون التجريب على أنه فن اختيار الأوضاع التي هي من المفروض أنها خاضعة للقانون الذي يتم البحث عنه وفي ترتيبها بحيث تعطي أجوبة تجريبية

واضحة. في كل تجربة هناك مبادئ مفترضة مسبقاً ولهذا فهي قابلة للتأكيد من التجربة. إلا أن كانط يذهب أبعد من ذلك، فهو يرفض إمكانية تنوع وجهات النظر العلمية وتنوع المبادئ المفترضة مسبقاً.. ومتفقاً مع أسطورة العلم الكلاسيكي فإن كانط يلاحق اللغة *الوحيدة* التي يكتشفها العلم في الطبيعة، والمجموعة الوحيدة من المبادئ القبلية التي تقوم عليها الفيزياء وهي لهذا تتطابق مع مقولات الإدراك الإنساني. ولهذا فإن كانط ينكر الحاجة لخيار فعّالٍ للعالم، الحاجة لاختيار موقف إشكالي يتعلق بلغة نظرية خاصة حيث يمكن فيها طرح أسئلة محددة والبحث عن أجوبة تجريبية.

إن مصادقة كانط تُعرِّف المشروع العلمي على أنه صامت ومنهجي ومنغلق ضمن ذاته، وبهذا تكون الفلسفة قد تبنت وأدامت الانشقاق محقّرةً ومتخليةً عن حقل المعرفة الإيجابي كله للعلم، بينما تبقي لنفسها حقل الحرية والأخلاق منظورا إليها على أنها غريبة عن الطبيعة.

فلسفة طبيعة؟ هيجل وبرغسون

لقد كانت الهدنة الكانطية بين العلم والفلسفة هدنة هشة. فلقد قطع الفلاسفة ما بعد كانط هذه الهدنة لصالح فلسفة جديدة للعلم، مفترضين مساراً جديداً للمعرفة متميزاً عن العلم وفي الواقع مناهضاً له. وسيطر تماماً التأمل المتحرر من قيود أي حوار تجريبي، محدثاً نتائج كارثية للحوار بين العلماء والفلاسفة. وأصبحت فلسفة العلم بالنسبة للكثير من العلماء مرادفة للتأمل المتعجرف والعبثي واللامبالي بالوقائع. ومن جانب آخر أصبحت لمعظم الفلاسفة رمزاً للمخاطر المتعلقة بالتعامل مع الطبيعة

وبالتنافس مع العلم. وهكذا أصبح الانشقاق بين العلم والفلسفة والدراسات الإنسانية أكبر بسبب شعور الخوف والاحتقار.

وكمثال على هذا المقترب التأملي لنأخذ مثال هيجل. لفلسفة هيجل أبعاد كونية. في منظومته هناك مستويات من التعقيد متزايدة ومحددة، وهدف الطبيعة هو التحقق الذاتي لعنصرها الروحي. ويتم تحقق تاريخ الطبيعة بظهور الإنسان - أي بظهور الروح المدركة لذاتها.

إن الفلسفة الهيجلية للطبيعة تُوحِد وتضم منهجياً كل ما يرفضه العلم النيوتوني، وهي تركز بشكل خاص على الفرق النوعي بين السلوك البسيط الموَّصف من قبل الميكانيك والسلوك الأكثر تعقيداً لكيانات مثل الموجودات الحية، وهي تنكر إمكانية إرجاع هذه المستويات رافضة فكرة أن الاختلافات هي فقط ظاهرية وأن الطبيعة متجانسة وبسيطة، كما تؤكد وجود تراتب للمستويات كل مستوي يفترض المستوي السابق.

وهيجل لا يشبه المؤلفين النيوتونيين ***لقصص المادة*** ***romans de la matiere*** ذات المنظور الشامل من تفاعل الجاذبية وحتى العواطف الإنسانية، فلقد عرف تماماً أن تمييزاته بين المستويات (التي بعيداً عن تأويله يمكن أن نتعرف على أنها تقابل فكرة التعقيد المتزايد في الطبيعة وإلى تصور للزمن الذي يزداد غنى في مغزاه مع كل مستوى جديد) يجري ***معارضاً*** ***counter***للعلم الرياضي للطبيعة الذي كان في أيامه، ولهذا فإنه هدف إلى وضع حد لمغذى هذا العلم لكي يُظهِر أن الوصف الرياضي هو محددٌ فقط بالأوضاع الأكثر تفاهة. يمكن للميكانيك أن يصبح رياضياً لأنه يعطي فقط صفات زمكانية للمادة. "إن طوبة brick لا تقتل رجلاً لأنها طوبة ولكن بسبب حصولها على تسارع؛ وهذا يعني أن الرجل قُتِل من قبل المكان

والزمان"[١٠]، قتل الرجل بسبب ما ندعوه الطاقة الحركية ($mv^2/2$) – بسبب كمية تجريدية تُعرِّف الكتلة والسرعة على أنها قابلة للتبادل؛ ويمكن الحصول على فعل القتل ذاته بإنقاص أحدهما وزيادة الآخر.

إنها بالضبط هذه القابلية للتبادل هي التي يضعها هيجل كشرط للترييض mathematization والذي لم يعد متحققاً عندما يتم التخلي عن المستوى الميكانيكي للوصف إلى مستوى "أعلى" يتعلق بطيف أشمل من الخواص الفيزيائية.

بمعنى ما فإن منظومة هيجل تقدم تجاوباً فلسفياً متماسكا للمسائل الجوهرية المتعلقة بالزمن والتعقيد. ومع ذلك فلأجيالٍ من العلماء مثَّلت هذه الفلسفة خلاصة الكراهية والاحتقار، وبعد عدة سنوات ازدادت صعوبات فلسفة هيجل الطبيعية باضمحلال الخلفية العلمية التي تأسست عليها فلسفته، حيث أن هيجل بالطبع أسس رفضه للمنظومة النيوتونية على التصورات العلمية لزمانه[١١]، وكان بالضبط أن هذه التصورات هي التي سقطت في النسيان بسرعة مذهلة. من الصعب تصور ظرفٍ أسوأ من بداية القرن التاسع عشر للبحث عن دعم نظري وتجريبي لعلم بديل عن العلم الكلاسيكي. ومع أن هذا الظرف قد تميز بتوسع مدهش في المجال التجريبي للعلم (أنظر الفصل الرابع) وبتكاثر في النظريات التي بدت مناقضة للعلم النيوتوني، فلقد تم التخلي عن معظم هذه النظريات بعد سنوات قليلة على ظهورها.

في نهاية القرن التاسع عشر حاول برغسون أن يبحث عن بديل مقبول للعلم في زمانه، وتوجه إلى الحدس كشكلٍ من أشكال المعرفة التأملية، ولكنه قدّمه مختلفا تماماً عن ذلك الذي لدى الرومانتكين، فلقد نص بشكل واضح أن الحدس لا

يمكنه أن ينتج منظومة ولكنه ينتج فقط نتائج وهي جزئية ولا يمكن تعميمها، ويجب اتخاذ أكبر الحذر في صياغتها. بالمقابل فإن التعميم هو خاصية "الذكاء" الذي أكبر إنجاز له العلم الكلاسيكي. الحدس البرغسوني هو انتباه مركز، محاولة متزايدة الصعوبة لاختراق أعمق في فرادة الأشياء. وبالطبع لكي يتم التواصل يجب على الحدس أن يلجأ إلى اللغة -"لكي يتم تناقله فإن عليه أن يستعمل الأفكار كواسطة تواصل"[١٢]، وهو يقوم بهذا بصبر شديد وانتباه، وفي ذات الوقت مجمعاً صوراً ومقارنات لكي "يحتضن الواقع"[١٣]، وبهذا يوحي بطريقة متزايدة الدقة ما لا يمكن تناقله بواسطة عبارات عامة وأفكار مجردة.

"بهذا يمكن للعلم والميتافيزياء "الحدسية" أن يكونا أو يصبحا محددين ودقيقين بالتساوي، إنهما يتعلقان بالواقع ذاته. ولكن كل واحد منهما يحتفظ بنصف الواقع ولهذا يمكن أن نرى فيهما إذا رغبنا تقسيماً للعلم إلى جزأين أو مجالين في الميتافيزياء إذا لم يؤشرا إلى جهتين متعارضتين لفعالية الفكر"[١٤].

و يمكن اعتبار تحديد هذين الاتجاهين المتعارضين على أنهما النتيجة التاريخية للثورة العلمية. لم يعد السؤال بالنسبة لبرغسون إيجاد بدائل علمية لفيزياء عصره، فبرأيه اختارت الكيمياء والبيولوجية نهائياً الميكانيك كنموذج. وهكذا فإن الآمال التي عززها ديدرو لمستقبل الكيمياء والطب قد تحطمت. وبرأي برغسون العلم هو كل ولذلك يجب الحكم عليه ككل. وهذا ما يفعله عندما يقدم العلم على أنه ناتج الذكاء العملي والذي هدفه السيطرة على المادة والذي يتطور بتجريد وتعميم المقولات العقلية اللازمة للقيام بذلك. فالعلم هو نتاج حاجتنا الحيوية لاستخدام العالم، وتصوراته محددة بالحاجة إلى منابلة الأشياء وبالقيام بالتنبؤات وبإنجاز أفعال يمكن تكرارها. ولهذا السبب فإن الميكانيك العقلي يمثل حقيقة العلم وتجسيده

الفعلي. أما العلوم الأخرى فإنها أكثر غموضاً، وهي مظاهر مرتبكة لمقترب يزداد نجاحاً كلما كانت الأرضية التي يدرسها أكثر جماداً ولا تنظيماً.

بالنسبة لبرغسون يمكن إرجاع كل التحديدات التي تحد العقلانية العلمية إلى تحديد وحيد حاسم: إنها لا يمكن أن تدرك ***الإستدامة durtaion*** حيث أنها تُرجِع الزمن إلى سلسلة من الحالات اللحظية المتواصلة فيما بينها بواسطة قانون حتمي.

"الزمن هو اختراع أو لاشيء على الإطلاق"[١٥]. الطبيعة هي التغير وهي التكوين المستمر للجديد، يتم خلق كائن جديد تماما بواسطة عملية تطور مفتوحة أساساً دون أي نموذج مؤسس مسبقاً. "تتنامى الحياة وتستمر في الزمن"[١٦]، والجزء الوحيد من هذا التنامي الذي يمكن للإدراك أن يمسك به هو ما ينجح في تثبيته بشكل عناصر قابلة للمنابلة والحساب وبالرجوع إلى زمن منظور له على أنه محض تجاور للآنات.

"لهذا فإن الفيزياء محددةٌ بربط تزامنات بين الأحداث التي تصنع هذا الزمن ومواقع المتحرك (T) على مساره. إنها تعزل هذه الأحداث عن الكل، الذي في كل لحظة يضع شكلا جديدا والذي ينقل إلى هذه الأحداث شيئاً من جدته (novelty). تنظر الفيزياء إليها بالمجرد، كما يمكن أن تكون خارج الكل الحي، أي بقول آخر في زمن ينبسط في المكان. وهي تُبقِي فقط على الأحداث أو منظومات الأحداث التي يمكن بهذا عزلها دون جعلها تخضع لتشوهٍ عميق، لأن هذه هي فقط التي تسمح للفيزياء بأن تطبق عليها طريقتها. وإن فيزياءنا بدأت في اليوم الذي عرفنا فيه كيف نعزل منظومات كهذه[١٧]".

وعندما يصل الأمر إلى فهم الاستدامة ذاتها فإن العلم عاجزٌ عن ذلك. ما نحتاج إليه هو الحدس "رؤية مباشرة للعقل بواسطة العقل"[١٨]. " التغيير

المحض والاستدامة الواقعية هما شيئان روحيان، والحدس هو الذي نصل به إلى الروح والاستدامة والتغير المحض(١٩).

هل يمكن أن نقول أن برغسون قد أخفق بنفس الطريقة التي أخفقت فيها الفلسفة ما بعد الكانطية؟ لقد أخفق من حيث أن الميتافيزياء المبنية على الحدس التي أراد تكوينها لم تتجسد. ولكنه لم يخفق في أنه، ليس مثل هيجل، كان محظوظاً فقد أصدر حكماً على العلم والذي توطد على العموم – وهو أن العلم الكلاسيكي في قمته قد تعرف على مسائل هي في الواقع لاتزال مسائلنا. ولكنه مثل نقاد ما بعد الكانطية فلقد طابق ما بين ذاتية العلم في عصره مع العلم بشكل عام. وهكذا نسب إلى العلم ***حكماً (de jure)*** حدوداً والتي كانت **في الواقع (de facto)**. وكنتيجة حاول أن يُعرِّف مرة وإلى الأبد ***حالة راهنة (statu quo)*** لمجالات العلم المعنية وللفعاليات الثقافية الأخرى. ولهذا فالمنظور الوحيد المفتوح له كان بتقديم طريقة يمكن فيها لمقتربات متعارضة على أحسن الأحوال أن تتعايش فقط.

بالنتيجة حتى لو كان الملخص الذي لخص فيه برغسون إنجازات العلم الكلاسيكي إلى حد ما لا يزال مقبولاً فإنه لا يمكننا قبوله على أنه حكم على الحدود الأزلية للمشروع العلمي. ونحن نتصوره على أنه على أكثر تقدير برنامج بُدِءَ بتبنيه من قبل التحول العلمي (metamorphosis) وخاصة أننا نعرف أن الزمن المتعلق بالحركة لا يستنفذ بالكامل معنى الزمن في الفيزياء. وهكذا فالتحديدات التي نقدها برغسون قد بُدِءَ بالتغلب عليها، ليس بالتخلي عن المقترب العلمي أو بالتفكير التجريدي ولكن بإدراك قصورات تصورات الديناميك الكلاسيكي وباكتشاف صيغ جديدة صحيحة لمواقف أكثر عمومية.

السيرورة والواقع: وايتهد

كما بَّينا فإن العنصر المشترك لكانط وهيجل وبرغسون هو البحث عن مقترب من الواقع مختلف عن مقترب العلم الكلاسيكي. وهذا هو أيضاً الهدف الأساسي لفلسفة وايتهد والتي هي بالتأكيد ما قبل كانطية. يعيدنا وايتهد في أهم كتبه ***السيرورة والواقع*** (***Process and Reality***) إلى الفلسفات الكبيرة للعصر الكلاسيكي ولبحثها عن تصورات دقيقة للتجريب.

بحث وايتهد لأن يفهم التجربة الإنسانية على أنها عملية تنتمي إلى الطبيعة وعلى أنها وجود فيزيائي. وقاده هذا التحدي من جهة أن يرفض التراث الفلسفي الذي عرَّف التجربة الذاتية بعبارات الوعي والتفكير والإدراك الحسي' ومن جهة أخرى أن يفكر في كل الوجود ***الفيزيائي*** بعبارات الاستمتاع والشعور والدافع والشهية والشوق – أي أن يتقابل (cross swords) مع ما يدعوه "الفلسفة المادية" التي نشأت في القرن السابع عشر. وهكذا اضطر وايتهد لكي يشير إلى عدم الكفاية الأساسي للمشروع الذي طوره علم القرن السابع عشر:

لقد انتج القرن السابع عشر أخيرا مشروعا للتفكير العلمي وضع الرياضيون أطره لاستعمالهم هم. والخاصية المميزة العظيمة للعقل الرياضي هي قدرته في التعامل مع المجردات؛ وفي الحصول منها على سلاسل برهانية دقيقة؛ مقتنعة تماما طالما أنك تريد التفكير بهذه المجردات فقط. إن النجاح الكبير للتجريد العلمي، معطيا من جهة المادة وموقعها البسيط في الزمان والمكان ومن جهة أخرى العقل المدرِك والمعاني والمتعقل وليس المتدخل قد أحال إلى الفلسفة وظيفة قبولها على أنها النتائج الأكثر تمثيلاً للواقع.

وبهذا فإن الفلسفة الحديثة قد دُمِرت. فلقد تأرجحت بطريقة معقدة بين ثلاثة أقطاب متطرفة. فهناك الثنائيون الذين يقبلون بالمادة والعقل على مستوى واحد والفريقين الآخرين من الموحدين الذين يضعون العقل في قلب المادة أو الذين يضعون

المادة في قلب العقل. ولكن لايمكن لهذا اللعب بالمجردات أبدا التغلب على الإرباك الناتج عن إعطاء ثبات في غير محله للمشروع العلمي للقرن السابع عشر[٢٠].

إلا أن وايتهد اعتبر هذا الوضع مؤقتا. وليس قدر العلم أن يبقى حبيس هذا الإرباك.

لقد تساءلنا سابقا فيما إذا كان من الممكن صياغة فلسفة للطبيعة غير موجهة ضد العلم. وعلم الكون لدى وايتهد هو أكبر المحاولات طموحاً لفعل ذلك. لم ير وايتهد أي تعارضٍ أساسي بين العلم والفلسفة. وكان هدفه تعريف التصورات التي ضمنها يمكن معالجة مسألة التجربة الإنسانية والسيرورات الفيزيائية بطريقة متوافقة وتحديد الشروط التي يمكن ضمنها حل المسألة. ما كان مطلوباً عمله هو صياغة المبادئ الضرورية لتوصيف كل أشكال الوجود من الحجارة وحتى الإنسان. إنها بالضبط هذه العمومية التي في رأي وايتهد تعرِّف مشروعه على أنه "فلسفة". فبينما تختار كل نظرية علمية وتجرد من العالم المعقد مجموعة خاصة من العلاقات فإن الفلسفة لا يمكنها أن تعطي أفضلية لأي نطاق خاص من التجربة الإنسانية. فمن خلال تجريب تصوري conceptual experimentation عليها أن تقيم توافقاً قابلاً لأن يوائم كل أبعاد التجربة؛ أكانت تنتمي إلى الفيزياء أم الفيزيولوجيا أم علم النفس أم البيولوجيا أم علم الأخلاق الخ.....

ولقد فهم وايتهد أكثر من أي شخص آخر أن التطور الخلاق للطبيعة لايمكن إدراكه إذا كانت العناصر المكونة له قد عُرِّفت على أنها كيانات فردية محتفظة بكينونتها خلال كل التغيرات والتفاعلات. ولكنه فهم أيضاً أن جعل كل ثبات وهماً ورفض الوجود باسم الصيرورة، ورفض الكيانات لصالح فيض مستمر ومتغير دوما تعني السقوط مرة أخرى في الشرك الممدود دوماً للفلسفة–أن "يستمتع الإنسان بالمآثر الباهرة للشروح المبينة"[٢١].

وهكذا فإن وظيفة الفلسفة حسب وايتهد هي الجمع بين الثبات والتغير وفي إدراك الأشياء على أنها سيرورات وفي إظهار أن الصيرورات تشكل كيانات،

كيانات فردية التي تولد وتموت. إنه ليس من نطاق هذا الكتاب إعطاء تفصيل لمنظومة وايتهد، ولكن دعنا نؤكد فقط أنه بيَّن الارتباط بين فلسفة ***علاقة*** -ليس من عنصر في الطبيعة ما هو مرتكز ثابت لعلاقات متغيرة؛ فكل يحصل على كينونته من علاقته بالآخرين - وفلسفة ***صيرورة مجددة (innovaing becoming)***. في عملية ولادته كل كائن يوحد تعددية (multiplicity) العالم، حيث أنه يضيف إلى هذه التعددية مجموعة جديدة من العلاقات. في تَخلّق كل كينونة جديدة "يصبحُ الكثير واحداً وهو يزداد بواحد"(٢٢).

وفي ختام هذا الكتاب سنواجه مرة أخرى سؤال وايتهد عن الثبات والتغير. هذه المرة كما هو مطروح في الفيزياء؛ سنتكلم عن كينونات مشكلة بتفاعلها اللاعكوس مع العالم. لقد اكتشفت الفيزياء اليوم الحاجة إلى التأكيد على التفريق والاعتماد المتبادل بين الوحدات والعلاقات وهي تعترف الآن أنه لكي يكون تفاعل ما واقعيا فإن "طبيعة" الأشياء المتعلقة يجب أن تستنتج من هذه العلاقات، وكذلك بنفس الوقت يجب على العلاقات أن تستنتج من "طبيعة" الأشياء (أنظر الفصل العاشر). وكان هذا رائد التوصيفات المتوافقة مع ذاتها (self consistent) كما هو معبر عنها مثلا في فلسفة"bootstrap " في فيزياء الجسيمات الأولية التي تؤكد على الترابط الشامل بين كل الجزيئات. عندما كتب وايتهد كتابه "السيرورة والواقع" كان الوضع في الفيزياء مختلفاً تماماً ولهذا لم يكن لفلسفة وايتهد أي صدىً إلا في البيولوجية(٢٣).

تقنعنا حالة وايتهد وكذلك برغسون أنه لايمكن أن ننهي الانشقاق الثنائي بين العلم والفلسفة إلا بانفتاح وتوسيع للعلم، وهذا الانفتاح ممكن فقط إذا أجرينا مراجعة لفكرتنا عن الزمن. إن رفض الزمن - أي إرجاعه إلى تفتح قانون عكوس - هو تنازل عن إمكانية تعريف تصور للطبيعة متسق مع فرضية أن الطبيعة أنتجت كائنات حية وخصوصاً الإنسان، إنه يحكم علينا بالاختيار بين فلسفة مناهضة للعلم وبين علم مغرِّب (alienating).

جهد الوضعيين : "نحن نجهل ولم نزل نجهل"

هناك طريقة أخرى للتغلب على صعوبات العقلانية الكلاسيكية المتضمنة في العلم الكلاسيكي وهي بالتفريق بين ما هو علمياً مثمر وبين ما هو "صحيح". وهذا شكل آخر من الشق الكانطي. في خطابه سنة ١٨٦٥ "حول هدف العلوم الطبيعية" بيَّن كيرتشوف(Kirchoff) أن الهدف النهائي للعلم هو إرجاع كل ظاهرة إلى حركة التي بدورها تُوصَّف بالميكانيك النظري. وهولمهولتز(Helmholtz) هو الذي قال عبارة مشابهة وهو كيميائي وطبيب وفيزيائي وفيزيولوجي ساد الجامعات الألمانية في الوقت الذي أصبحت فيه هذه الجامعات مركز العلم الأوروبي. لقد نص: "يجب أن تنسب ظواهر الطبيعة إلى حركة جسيمات مادية لها قوى محركة غير متغيرة، والتي تعتمد على شروط المكان فقط"(٢٤).

وهكذا فإن هدف العلوم الطبيعية كان إرجاع كل الملاحظات (observations) إلى القوانين التي صاغها نيوتن والتي عممت من قبل فيزيائيين ورياضيين كبار من أمثال لاغرانج ووهاملتون وآخرين. ليس علينا السؤال لماذا توجد هذه القوى وتدخل في معادلة نيوتن. وعلى كل حال فإننا لا نستطيع "تفهم" المادة أو القوى حتى لو استعملنا هذه التصورات لصياغة قوانين الديناميك. وتبقى اللماذا وطبيعة هذه القوى والكتل محجوبة عنا. وكما ذكرنا سابقاً عبَّر ريمون دو بوا باختصار عن قصورات معرفتنا عندما قال "لا نعرف ولم نزل لا نعرف". وهكذا لا يقدم العلم طريقاً لغوامض الكون، ما هو العلم إذن؟ لقد ذكرنا سابقاً وجهة نظر ماك (Mach) المؤثرة: العلم هو جزء من صراع البقاء الدار ويني. إنه يساعدنا على تنظيم تجربتنا، إنه يقود

إلى اقتصاد في التفكير. ليست القوانين الرياضية إلا مواضعات مفيدة في تلخيص نتائج تجارب ممكنة. مارست الوضعية العلمية جذباً ثقافياً في نهاية القرن التاسع عشر. وفي فرنسة أثرت في أعمال مفكرين كبار من أمثال دوهم (Duhem)وبوانكاربيه.

وخطوة أخرى في حذف "الميتافيزياء الكريهة" ونصل إلى مدرسة فينا. وهنا يصبح للعلم الشرعية على كل المعرفة الإيجابية والفلسفة لكي يبقي هذه المعرفة الإيجابية ضمن النظام. وهذا يعني الخضوع التام لكل المعرفة العقلية وكل الأسئلة للعلم. وعندما كتب رايشنباخ Reichenbachفيلسوف الوضعية الجديدة البارز كتابه عن "اتجاه الزمن" كتب ما يلي:

"ليس من طريقة لحل مسألة الزمن إلا عن طريق الفيزياء التي كانت أكثر من أي علم آخر مهتمة بالزمن. وإذا كان الزمن موضوعيا فإن الفيزيائي يجب أن يكون قد اكتشف هذا. وإذا كان هناك من سيرورة فإن الفيزيائي يجب أن يعرفها؛ ولكن إذا كان الزمن ذاتيا فقط وكانت الصيرورة لا زمنية، فإن الفيزيائي يجب أن يكون قادراً على أن يتجاهل الزمن في تركيبه للواقع وأن يوصف العالم دون مساعدة الزمن .... إنه مشروع لا أمل له ذلك الذي يبحث في طبيعة الزمن خارج دراسة الفيزياء. وإذا كان هناك من حل للمشكلة الفلسفية للزمن فإنه مذكور في المعادلات الرياضية للفيزياء." [٢٥]

إن عمل رايشنباخ مهم جداً لمن يريد أن يرى ما تقوله الفيزياء في موضوع الزمن، ولكنه ليس كتاباً في فلسفة الطبيعة بل وصف للطريقة التي يتحدى بها الفيزيائيون وليس الفلاسفة مشكلة الزمن.

ما هو إذن دور الفلسفة؟ لقد قيل مراراً أن الفلسفة يجب أن تصبح علم العلم. وعلى أن يكون هدف الفلسفة تحليل طرائق العلم، ووضع البيديهيات وتوضيح التصورات المستعملة. إن دوراً كهذا سيجعل من "ملكة العلوم" السابقة شيئا كخادمة للعلوم. بالطبع هناك إمكانية أن هذا التوضيح للتصورات سيسمح بتقدم أبعد، وأن فلسفة مفهومة بهذا الشكل سيكون بإمكانها باستعمال طـــرائق مختلفة - منطق وسيميوطيقية (semantics) - أن تنتج معرفة جديدة يمكن مقارنتها بتلك التي للعلم ذاته. إن هذا الأمل هو الذي يغذي "الفلسفة التحليلية" السائدة في الأوساط الأنكلو-أميركية. لا نريد التقليل من أهمية بحث كهذا، ولكن المسائل التي تهمنا مختلفة تماماً. لا نهدف لأن نوضح ولا أن نقعد المعرفة الموجودة ولكن أن نغلق فجوات في هذه المعرفة.

بدء جديد

وصفنا في الجزء الأول من هذا الكتاب من جهة الحوار مع الطبيعة الذي جعله العلم الكلاسيكي ممكنا' ومن جهة أخرى الوضع الثقافي القلق لهذا العلم. فهل هناك من مخرج؟ ناقشنا في هذا الفصل بعض المحاولات لإيجاد طرق بديلة للمعرفة. ولقد ذكرنا أيضا الرأي الوضعي الذي يفصل بين العلم والواقع.

تحدث اللحظات الأكثر إثارة في الاجتماعات العلمية عادة عندما يبحث العلماء مسائل ليس لها أية فائدة عملية، ليس لها قيمة بقاء - مواضيع من مثل التأويلات الممكنة لميكانيك الكم، أو دور الكون المتمدد في تصوراتنا عن الزمن. إذا قبلنا بالمنظور الوضعي الذي يُرجِع العلم إلى حساب رمزي فإن العلم سيفقد الكثير من جاذبيته، وسيتشظى تركيب نيوتن بين التصورات

النظرية والمعرفة الفعالة. وسنعود إلى الوضع المألوف أيام اليونان وروما حيث هناك فجوة غير مجَّسرة بين المعرفة التقنية والعملية من جهة وبين المعرفة النظرية من جهة أخرى.

كانت الطبيعة بالنسبة للقدماء منبع حكمة. وتكلمت طبيعة القرون الوسطى عن الله. أما في العصور الحديثة فلقد أصبحت الطبيعة صامتة حتى أن كانط اعتبر أن العلم والحكمة، العلم والحقيقة يجب أن يتم فصلهما تماماً. ولقد عشنا هذا الانفصام الثنائي (dichotomy) في القرنين الماضيين. وآن الأوان لهذا الأمر أن يتوقف. لقد أصبح هذا ناضجاً بالنسبة للعلم لأن يتم. فإن الخطوة الأولى من منظورنا الحالي باتجاه إمكانية إعادة توحيد المعرفة كان الاكتشاف في القرن التاسع عشر للحرارة و لقوانين الديناميك الحراري. ويظهر الديناميك الحراري على أنه الشكل الأول "لعلم التعقيد" (science of complexity). وهذا هو العلم الذي نريد الآن أن نوصفه من بداية صياغته وحتى تطوراته المعاصرة.



الكتاب الثاني

علم التعقيد

الفصل الرابع

الطاقة والعصر الصناعي

الحرارة كمنافس للجاذبية

(ignis mutat Res) النار تحول المادة،لقد ربطت الحكمة القديمة دوماً الكيمياء "بعلم النار". ولقد أصبحت النار جزءاً من العلم التجريبي خلال القرن الثامن عشر بادئة تحولاً في التصورات التي أجبرت العلم على أن يعيد الاعتبار لما رفضه سابقاً باسم منظور ميكانيكي للعالم تصورات مثل اللاعكوسية والتعقيد.

تغير النار المادة؛ تقود النار إلى تفاعلات كيميائية، إلى سيرورات مثل الذوبان والتبخر. تجعل النار الوقود يحترق ويصدر حرارة. ومن كل هذه المعرفة العادية فإن علم القرن التاسع عشر ركَّز على واقعة وحيدة أن الاحتراق ينتج حرارة وأن الحرارة تقود إلى زيادة في الحجم؛ وكنتيجة لهذا يُنتِجُ الاحتراق عملاً. وهكذا تؤدي النار إلى نوع جديد من الآلات، الآلات الحرارية وهي التجديد التقني الذي تأسس عليه المجتمع الصناعي(١).

من المهم أن نتذكر أن آدم سميث Adam Smith عندما كان يعمل على مؤلفه *ثروة الأمم* "*Wealth Of Nations*" وكان يجمع المعطيات حول آمال ومحددات النمو الصناعي كان في نفس الجامعة التي كان فيها جيمس وات

James Watt يضع اللمسات الأخيرة لآلته البخارية. ومع ذلك فإن الاستعمال الوحيد للفحم الذي أمكن لآدم سميث أن يجده هو في تدفئة العمال. ففي القرن الثامن عشر كان الهواء والماء والحيوانات والآلات البسيطة هي المصادر المتصورة الوحيدة للقدرة.

ولقد جلب الانتشار السريع للآلة البخارية البريطانية اهتماماً جديداً بالنتائج الميكانيكية للحرارة، ونشأ عن هذا الاهتمام الترموديناميك، ولهذا فلم يكن مهتما ***بطبيعة*** الحرارة بل *بإمكانيات* الحرارة في إنتاج "طاقة ميكانيكية".

أما بالنسبة "لعلم التعقيد" science of complexity فإننا نقترح تاريخاً لولادته سنة ١٨١١ السنة التي نال فيها البارون جان جوزيف فورييه Jean Joseph Fourier محافظ ازيير Isere جائزة الأكاديمية الفرنسية للعلوم لدراسته الرياضية حول انتشار الحرارة في الجوامد.

كانت النتيجة التي ذكرها فورييه بسيطة وأنيقة بشكل مدهش: يتناسب سريان الحرارة وتدرج gradient درجة الحرارة. ومن الجدير بالاعتبار أن هذا القانون البسيط ينطبق على المادة أكانت جامدة أم سائلة أم غازية. بالإضافة إلى ذلك يبقى صحيحا مهما كان التركيب الكيميائي للجسم أكان حديداً أم ذهباً. وما هو خاص بكل مادة هو عامل التناسب بين سريان الحرارة وتدرج درجة الحرارة.

ومن الواضح أن الصبغة العمومية لقانون فورييه لا علاقة لها مباشرة بالتفاعلات الديناميكية كما تعبر عنها قوانين نيوتن وهكذا فإن صياغتها يمكن أن تعتبر نقطة بدء لتوصيف جديد للعلم. وفي الواقع فإن بساطة التوصيف الرياضي لانتشار الحرارة تبدو مباينة بشكل صارخ لتعقيد المادة منظوراً إليها من وجهة تركيبها الذري. إن مادة جامدة أو غازاً أو سائلاً هي

منظومات جهرية macro مكونة من عدد كبير من الذرات ومع ذلك فإن الناقلية الحرارية توصف بقانون وحيد. ولقد صاغ فورييه قانونه في زمن سادت فيه مدرسة لابلاس العلم الأوروبي. ولقد حاول تجمع لابلاس ولاغرانج وتابعيهم دون جدوى نقد نظرية فورييه وأُجبِروا على التراجع[٢]، وتلقى حلم لابلاس وهو في القمة من مجده أول إخفاق له. لقد تم إبداع نظرية فيزيائية والتي كانت دقيقة رياضياً كدقة القوانين الميكانيكية للحركة ولكنها بقيت غريبةً تماماً بالنسبة للعالم النيوتوني، ومنذ ذلك الوقت لم تعد الرياضيات والفيزياء والعلم النيوتوني مترادفات.

وكان لصياغة قانون انتشار الحرارة تأثير مستمر. ومن الغرابة أنه كان في فرنسة وبريطانيا نقطة بدء لمسارات تاريخية مختلفة حتى زمنا الحاضر.

ففي فرنسة قاد إخفاق حلم لابلاس إلى التصنيف الوضعي للعلم إلى أقسام محددة تماماً كما قدمها أوغست كومت August Comte. ولقد حلل ميشيل سيريه Michel Serres تصنيف كومت بشكل جيد[٣] - الحرارة والجانبية كليتان تتواجدان معا في الفيزياء، والأسوأ من ذلك كما سيقول لاحقاً أوغست كومت هما متعادلتان. فالجاذبية تعمل على مادة غفل ***تخضع*** لها دون أن تتأثر بأية طريقة أخرى غير الحركة التي تحصل عليها وتنقلها. الحرارة ***تحول transforms*** المادة وتحدد الحالة وتقود إلى تعديلات في الخصائص الأساسية. كان هذا بمعنى ما تأييداً لاحتجاج الكيميائيين المعادين للنيوتونية في القرن الثامن عشر ولكل أولئك الذين أكدوا على التمييز بين السلوك الزمكاني الصرف المنسوب للكتلة وللفعالية الخاصة للمادة. واستخدم هذا التمايز كأساس لتصنيف العلوم، والكل موضوع من قبل كومت تحت الرمز المشترك للنظام - أي التوازن. يضيف الوضعيون ببساطة للتوازن الميكانيكي بين القوى تصور التوازن الحراري.

وفي بريطانيا من جهة أخرى فإن نظرية انتشار الحرارة لم تكن تعني التخلي عن محاولة توحيد حقول المعرفة ولكنها فتحت خطاً جديداً لبحث الصياغة المتدرجة لنظرية للسيرورات اللاعكوسة.

عندما يُطبَق قانون فورييه على جسم معزول لا متجانس في توزيع درجة الحرارة فإنه يُوصِّف البدء التدريجي لتوازن حراري. إن تأثير انتشار الحرارة هو لكي يتم تعادل تدرجي في توزيع درجة الحرارة حتى يتم التوصل إلى حالة تجانس. لقد عرف الكل أن هذه كانت سيرورة لا عكوسة؛ ففي قرن سابق أكد بور هاف (Boerhave) أن الحرارة تنتشر دوماً وتتساوى. إن علم الظواهر المعقدة - المتعلق بتفاعل بين عدد كبير من الجسيمات - وحدوث اللاتناظر الزمني كانت متشابكة منذ البداية. ولكن لم تصبح الناقلية الحرارية نقطة البداية لبحث في طبيعة اللاعكوسة قبل أن ترتبط أولا بفكرة التبدد كما نظر إليها من وجهة نظر هندسية engineering point of view [٤].

لنفصِّل أكثر في بنية "علم الحرارة" كما أخذ شكله في بداية القرن التاسع عشر. مثل الميكانيك تضمَّن علم الحرارة تصوراً أصيلاً ***للموضوع*** الفيزيائي وتعريفاً للآلات أو ***المكنات*** - أي على تعرفٍ على السبب والنتيجة في نموذج خاص لإنتاج العمل الميكانيكي.

إن دراسة السيرورات الفيزيائية التي تتضمن حرارة تقتضي تعريف منظومة، ليس كما في حالة الديناميك بموضع وسرعة مكوناتها (يوجد حوالي 10^{23} ذرة في حجم من الغاز أو قطعة من المادة الصلبة بمقياس cm^3)، ولكن بمجموعة ***معاملات جهرية*** من مثل درجة الحرارة والضغط والحجم وما إلى ذلك. بالإضافة إلى ذلك يجب أن نأخذ بالحسبان ***الشروط الحدية*** ***boundary conditions*** التي توصِّف علاقة المنظومة بمحيطها.

لنأخذ كمثالٍ الحرارة النوعية، أحد الخواصِ المميزة لمنظومة جهرية. الحرارة النوعية هي مقياس كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة منظومة ما درجة واحدة بينما يبقى حجمها أو ضغطها ثابتين. لدراسة الحرارة النوعية – مثلاً تحت ظروف حجم ثابت – يجب أن يتم تفاعل بين المنظومة ومحيطها؛ يجب أن تتلقى كمية معينة من الحرارة بينما يحتفظ بحجمها ثابتاً وأن يسمح لضغطها أن يتغير.

عموماً يمكن لمنظومة أن تخضع لفعل ***ميكانيكي*** (مثلاً إما أن يثبت الضغط أو الحجم باستعمال آلة ذات مكبس piston device أو لفعل ***حراري*** (يمكن أن تعطى المنظومة أو يؤخذ منها كمية معينة من الحرارة أو يمكن للمنظومة أن تصل إلى درجة حرارة معينة بواسطة التبادل الحراري) أو لفعل ***كيميائي*** (لتدفق مواد متفاعلة ولمواد ناتج تفاعل بين المنظومة ومحيطها). كما ذكرنا سابقاً فإن الضغط والحجم والتركيب الكيميائي والحرارة هي المعاملات الفيزيوكيميائية الكلاسيكية التي بتعابيرها يتم تحديد خواص المنظومات الجهرية. ***الترموديناميك*** هو علم الترابطات correlation بين تغيرات هذه الخواص. بالمقارنة مع مواضيع الديناميك فإن مواضيع الترموديناميك تقود لذلك إلى وجهة نظر جديدة. وهدف النظرية ليس التنبؤ بالتغييرات في المنظومة بتعابير التفاعلات بين الجزيئات؛ إن هدفها هو التنبؤ بكيفية رد فعل المنظومة على التحويلات التي تفرض عليها من الخارج.

ترد ***الآلة الميكانيكية*** الطاقة الكامنة التي تلقتها من العالم الخارجي على شكل عمَل. السـبب والنتيجة هما من نفـس الطبيعة وهما مثالياً على الأقل متعادلان. وعلى العكـس تتضمن الآلة ***الحرارية*** تغييرات مادية للحالة، بما فيها تحولات الخواص الميكانيكية للمنظومة، التمدد

والتوسع expantion and dilatation. ويجب أن ينظر إلى العمل الميكانيكي الناتج على أنه نتيجة عملية تحول حقيقية وليس على أنه نقل حركة فقط. لذا فإن الآلة الحرارية ليست أداة سلبية فقط؛ إنها بكلام دقيق ***منتجة*** للحركة. وهذا هو منشأ مشكلة جديدة: لكي نعيد للمنظومة استطاعتها لإنتاج حركة فإن علينا أن نعيد المنظومة إلى حالتها الابتدائية. وهكذا تلزم سيرورة ***ثانية*** تغير ثان في الحالة ***يعوض*** التغير المنتج للحركة. تتضمن هذه العملية الثانية في الآلة الحرارية التي هي معاكسة للأولى تبريد المنظومة حتى تصل إلى درجة حرارتها الابتدائية وكذلك الضغط والحجم.

و إن مسألة مردود الآلات الحرارية أو نسبة العمل المنتج إلى الحرارة التي يجب تقديمها للمنظومة بحيث ***تنتج السيرورات المتعاوضة*** هي النقطة التي تم فيها إدخال تصورات السيرورات اللاعكوسة في الفيزياء. سنعود إلى أهمية قانون فورييه في هذا الإطار، ولكن لنصف أولاً الدور الأساسي الذي لعبه مبدأ انحفاظ الطاقة.

مبدأ انحفاظ الطاقة

لقد أكدنا سابقاً على الدور المركزي للطاقة في الديناميك الكلاسيكي. يُعبَّر عن الهاملتونيان (مجموع الطاقة الحركية والطاقة الكامنة) بعبارات المتحولات القياسية - الإحداثيات والعزوم - ويقود إلى تغييرات في هذه المتحولات بينما يبقى (الهاملتونيان) ثابتا خلال الحركة. التغيير الديناميكي يغير فقط الأهمية المعينة لكل من الطاقة الكامنة والطاقة الحركية مع الاحتفاظ بمجموعها ثابتاً.

لقد تميز أوائل القرن التاسع عشر بنشاط تجريبي لا سابق له(٥). وتحقق الفيزيائيون أن الحركة تعمل أكثر من أن تغير المواضع النسبية للأجسام في المكان. وشكلت سيرورات جديدة تم التعرف عليها في المخابر شبكة ربطت أخيراً كل الحقول الجديدة في الفيزياء مع فروع أخرى أكثر تراثية مثل الميكانيك. اكتشفت إحدى هذه الارتباطات صدفة من قبل كالفاني. لم تكن تعرف قبله إلا الشحنات الكهربائية الساكنة. وأظهركالفاني Galvani مستعملاً جسد ضفدع أول تيار كهربي تجريبي. وسريعاً ما تعرَّف فولتا Volta أن التقلصات "الكلفانية" في الضفدع ما هي في الواقع إلا نتيجة ***تيار*** كهربي يمر فيها. وركَّب سنة ١٨٠٠ أول بطارية كيميائية، وهكذا أصبح ممكناً إنتاج كهرباء من تفاعلات كيميائية. ثم أتى التحليل الكهربائي: يمكن لتيار كهربائي أن يعدل الميول affinities الكيميائية وأن ينتج تفاعلات كيميائية. ولكن يمكن لهذا التيار أن ينتج ضوءاً وحرارة أيضاً؛ وفي سنة ١٨٢٠ اكتشف أورستد Oersted التأثيرات المغناطيسية الناتجة عن التيارات الكهربائية. وفي سنة ١٨٢٢ بَّين سيبك Seebeck أنه بالعكس يمكن للحرارة أن تنتج كهرباء وفي سنة ١٨٣٤ بَّين كيف يمكن تبريد المادة بواسطة الكهرباء. ثم في سنة ١٨٣١ حرَّض فارادي Faraday تياراً كهربياً بواسطة تأثيرات مغناطيسية، وكشف تدريجياً عن شبكة من التأثيرات الجديدة. وكان الأفق العلمي يتوسع بتسارع لا سابقة له.

و في سنة ١٨٤٧ اتخذ جول Joule خطوة حاسمة: تم التعرف على أن الروابط بين الكيمياء والحرارة، والكهرباء والمغناطيسية، والبيولوجية هي ***"تحولات" conversions***. إن فكرة التحول التي تفترض أن هناك "شيئاً" يبقى ثابتاً كمياً بينما يتم تحوله نوعياً يُعمم ما يحدث خلال الحركة الميكانيكية. كما

رأينا تبقى الطاقة الكلية محفوظة بينما تتحول الطاقة الكامنة إلى حركية وبالعكس. عرَّف جول *معادلاً* عاماً للتحولات الفيزيوكيميائية، وبهذا أصبح ممكناً قياس الكمية المنحفظة، هذه الكمية التي عُرِّفت فيما بعد[٦] "بالطاقة". ولقد أسس لأول تعادل equivalence بقياس العمل الميكانيكي اللازم لرفع درجة حرارة كمية معطاة من الماء درجة واحدة. لقد تم اكتشاف عامل مُوحِّد وسط اكتشافات كثيرة جديدة مربكة. إن انحفاظ الطاقة خلال التحولات المختلفة التي تقوم بها منظومات فيزيائية وكيميائية وبيولوجية قدَّم مبدأً موجهاً في البحث في سيرورات جديدة.

فلا عجب أن مبدأ انحفاظ الطاقة كان مهماً جداً لفيزيائي القرن التاسع عشر، لأنه بالنسبة للكثير منهم كان يعني توحيد الطبيعة كلها، وعَبَّر جول عن هذا الاعتقاد في إطار إنكليزي:

في الواقع إن ظواهر الطبيعة أكانت ميكانيكية، كيميائية أم حيوية تتكون تقريباً بمعظمها كليا من تحول مستمر للجاذبية خلال المكان لقوة حية (ملاحظة: الطاقة الحركية) ولحرارة إحداهما إلى الأخرى. وهكذا يتحقق النظام في الكون - لا شيء يختل ولاشيء يُفقَد أبداً، ولكن الآلية كلها ومع أنها معقدة جداً فإنها تعمل بسلاسة وبتناغم ومع أنه في رؤية إزاكيل Ezkiel vision المخيفة "دولاب ضمن دولاب"[*]، يبدو كل شيء معقداً ومشاركاً في التشوش الظاهر وفي مخاتلات لا نهاية لها من الأسباب والنتائج والتحولات والترتيبات، ومع ذلك فإنه يتم الحفاظ على أكمل استمرارية - إرادة الله الشاملة تتحكم بالوجود بأكمله[٧].

(*) أحد أنبياء بني اسرائيل ظهر في الأسر البابلي في القرن السادس قبل الميلاد تنبأ بتهديم اورشليم عن طريق رؤيا مخيفة . المترجم .

إن حالة الألمان هلمهولتز Helmholtz وماير Mayer وليبج Liebig – وثلاثتهم ينتمون إلى ثقافة يمكن أن ترفض معتقدات جول على أساس ممارسة وضعية حصراً – هي حتى أكثر إدهاشاً. في زمن اكتشافاتهم لم يكن أي واحد من الثلاثة فيزيائياً بالمعنى الدقيق، ومن جهة أخرى كلهم كانوا مهتمين بفيزيولوجية التنفس. وهذه أصبحت منذ لافوازييه المسألة النموذج التي يمكن فيها وصف عمل كائن حي بعبارات فيزيائية وكيميائية دقيقة، مثل حريق الأوكسجين، وتحرير الحرارة والعمل العضلي. وهكذا كان هذا سؤالاً يجذب الفيزيولوجين والكيميائيين المعادين للتأمل الرومانتيكي والمتشوقين لأن يساهموا في العلم التجريبي. ومع ذلك فبالحكم من روايات كيف توصل هؤلاء الثلاثة إلى نتيجة أن التنفس، ومن ثم كل الطبيعة محكومة من قبل نوع أساسي من "التعادل" equivalence، يمكننا أن نقول أن التراث الفلسفي الألماني قد صبغهم بتصور كان غريباً تماماً عن الموقف الوضعي: استنتجوا كلهم دون تردد أن كل الطبيعة وفي كل تفاصيلها،هي محكومة من قبل هذا المبدأ الوحيد في الانحفاظ.

وحالة ماير هي الأكثر إدهاشاً(٨)، فلقد لاحظ عندما كان يعمل كطبيب فتي في المستمرات الهولندية في جافا Java اللون الأحمر الزاهي في أوردة مرضاه، وقاده هذا لأن يستنتج أنه في المناخ الاستوائي الحار يحتاج السكان لحرق أوكسجين أقل لحفظ درجة حرارة الجسم؛ وعن هذا ينتج اللون الزاهي لدمهم. ومن هنا ذهب ماير لأن يظهر التوازن بين استهلاك الأوكسجين الذي هو منبع الطاقة واستهلاك الطاقة الجاري في حفظ درجة حرارة الجسم بالرغم من فقد الحرارة ومن العمل اليدوي. كانت هذه شطحةكبيرة حيث يمكن أن يعزى لون الدم إلى "كسل" المريض. ولكن ماير ذهب أبعد من ذلك واستنتج أن التوازن بين استهلاك الأوكسجين وفقد الحرارة كان فقط المظهر الخاص بوجود "قوة" لا يمكن تدميرها متضمن في كل الظواهر.

هذا الميل لرؤية الظواهر الطبيعية كناتج لواقع تحتي يبقى ثابتاً خلال تبدلاته، يُذكِّر بشكل بيِّن بكانط. ويمكن التعرف على تأثير كانط في فكرة أخرى كان يعتقد بها بعض الفيزيولوجيين في التمييز بين المذهب الحيوي كتأمل فلسفي ومسألة المنهجية العلمية. بالنسبة لهؤلاء الفيزيولوجيين حتى إذا كان هناك قوة "حيوية" في أساس عمل الكائنات الحية فإن **موضوع** الفيزيولوجية مع ذلك سيبقى ذا طبيعةٍ فيزيو كيميائية صرفة. ومن وجهتي النظر المذكورتين، فإن الكانطية التي صادقت على الشكل المنهجي الذي اتخذته الفيزياء الرياضية خلال القرن الثامن عشر يمكن التعرف عليها أيضاً على أنها إحدى جذور إعادة تجديد الفيزياء في القرن التاسع عشر(٩).

ولقد اعترف هلمهولتز صراحة بتأثير كانط، فبالنسبة له كان مبدأ انحفاظ الطاقة التجسيد في الفيزياء لمتطلب قبلي عام ينبني عليه كل علم – البديهية أن هناك لاتغيراً أساسياً خلف كل التحولات الطبيعية:

إن مسألة العلوم هي في المكان الأول البحث عن القوانين التي يمكن بواسطتها للسيرورات الطبيعية الخاصة أن تُرجَع إلى وتستنتج من قواعد عامة. نحن معذورون بل إننا مجبرون على هذا النهج بالاعتقاد بأن أي تغير في الطبيعة يجب أن يكون له سببٌ كاف. يمكن أن تكون الأسباب القريبة التي تحيل إليها الظواهر بذاتها إما متغيرة وإما غير متغيرة؛ في الحالة الأولى يجبرنا الاعتقاد الذي ذكرناه على البحث عن أسباب لهذا الغير، وهكذا حتى نصل أخيراً إلى الأسباب النهائية والتي هي غير متغيرة والتي يجب لذلك في كل الحالات التي تكون فيها الظروف الخارجية نفسها أن تعطي النتائج اللامتغيرة ذاتها. وهكذا فإن الهدف النهائي للعلوم الطبيعية النظرية هو كشف الأسباب النهائية اللامتبدلة لظواهر الطبيعة(١٠).

مع مبدأ انحفاظ الطاقة بدأت فكرة عصر ذهبي للفيزياء تأخذ شكلها، العصر الذي سيقود إلى التعميم النهائي للميكانيك.

كانت النتائج الثقافية لهذا بعيدة المدى، ولقد تضمنت تصوراً للمجتمع والإنسان على أساس آلات محولة لطاقة. ولكن تحولات الطاقة ليست كل القصة. إنها تمثل تلك المظاهر من الطبيعة التي هي سلمية وقابلة للتحكم، ولكن في الأسفل يجب أن يكون هناك مستوى آخر أكثر "فعالية". ولقد كان نيتشه Nietzsche أحد أولئك الذين التقطوا صدى التخليق والهدم اللذين كانا يذهبان أبعد من مجرد تحولات في الطاقة. وفي الحقيقة فقط الفروق مثل فروق درجة الحرارة أو الطاقة الكامنة يمكن أن تنتج نتائج هي أيضاً فروقات[١١]. تحول الطاقة ما هو إلا هدم لفروق مع تخليق لفروق أخرى، وهكذا يتم إخفاء قوة الطبيعة باستعمال التعادلات. إلا أن هناك مظهراً آخر للطبيعة يتضمن مراجل الآلات البخارية والتحولات الكيميائية والحياة والموت، وهو يذهب أبعد من مجرد تعادلات وانحفاظ للطاقة[١٢]. وهنا نصل إلى أهم إنجازات الديناميك الحراري وهي فكرة اللاعكوسية.

الآلات الحرارية وسهم الزمن

عندما نقارن الأدوات الميكانيكية بالآلات الحرارية مثلاً مراجل محركات السكك الحديدية الحمراء الحرارة، فإننا نرى بلمحة الفجوة بين عصر الكلاسيك وتقنية القرن التاسع عشر. ومع ذلك تابع الفيزيائيون التفكير أنه يمكن إهمال هذه الفجوة، وأنه يمكن وصف الآلات الحرارية مثل الآلات الميكانيكية مهملين بذلك الحقيقة الحاسمة أن الوقود المستعمل في الآلة البخارية يختفي إلى الأبد. ولكن هذا الرضى أصبح بسرعة مستحيلاً. لأنه بالنسبة للميكانيك الكلاسيكي كانت الساعة هي رمز الطبيعة؛ بينما في العصر

الصناعي أصبح الرمز هو خزان الطاقة المهدد دوماً بالنفاذ، والعالم يحترق كأتون؛ والطاقة مع أنها تتحفظ إلا أنها تتبدد.

تعود الصياغة الأولية للقانون الثاني للديناميك الحراري، الذي سيقود إلى أول تعبير كمي عن مبدأ اللاعكوسية إلى سادي كارنو Sadi Carnot سنة ١٨٢٤، والذي تم قبل صياغة مبدأ انحفاظ الطاقة من قبل ماير سنة ١٨٤٢ وهلمهولتز سنة ١٨٤٧. حلل كارنو الآلة البخارية متتبعاً عمل والده لازار كارنو Lazare Carnot الذي قدَّم توصيفاً مؤثراً للآلات الميكانيكية.

إن توصيف الآلات الميكانيكية يفترض الحركة على أنها معطى، وهذا يقابل في لغة اليوم انحفاظ الطاقة والعزوم. يتم فقط تحويل الحركة ونقلها إلى أجسام أخرى، ولكن المماثلة بين الآلات الميكانيكية والآلات الحرارية كان شيئاً طبيعياً بالنسبة لسادي كارنو، حيث افترض كمعظم علماء عصره أن الحرارة كما الطاقة الميكانيكية منحفظة.

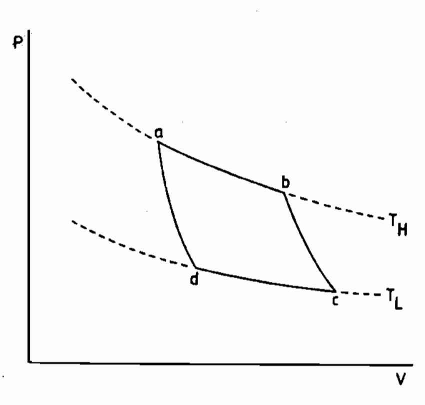
يمكن للماء الساقط من مستوى إلى آخر أن يدير طاحونة، وبالمثل افترض سادي كارنو أن هناك منبعان يعطي أحدهما الحرارة لمنظومة الآلة والآخر على درجة حرارة مختلفة يمتص الحرارة المعطاة من المنبع الأول. إنها **حركة** الحرارة في الآلة بين المنبعين على درجات حرارة مختلفة – وهذه هي القوة الدافعة للتيار – التي ستجعل الآلة تعمل.

كرر كارنو تساؤلات والده [١٣]. أي الآلات سيكون لها أعلى مردود؟ ما هي منابع الفقد؟ ما هي السيرورات التي تتم فيها انتشار الحرارة دون عمل؟ لقد استنتج لازار كارنو أنه لأجل الحصول على المردود الأمثل من آلة ميكانيكية فإنه يجب أن تُركَّب وتشغل بحيث تخفض إلى الحد الأدنى الصدمات والاحتكاك والتغيرات المتقطعة في

السرعة –باختصار كل ما هو مسبب بالتماس الفجائي لأجسام متحركة بسرعات مختلفة. بهذا كان يطبق فقط فيزياء عصره: فقط الظواهر المستمرة هي الانحفاظية؛ وكل تغيرات فجائية في الحركة تُحدِث ضياعاً لا عكوساً في "القوة الحية" وبالمثل *الآلة الحرارية* المثلى بدلاً من تحاشي التماس بين أجسام متحركة *بسرعات* مختلفة، عليها أن تتحاشى التماس بين آلات في *درجات* مختلفة من الحرارة.

لهذا يجب تصميم الدورة cycle بحيث لا يحدث تغير في درجات الحرارة ناتج عن جريان الحرارة بين جسمين في درجات حرارة مختلفة، وحيث أن هكذا جريان ليس له تأثير ميكانيكي مقابل فإنه يقود فقط إلى فقد في المردود.

وهكذا فإن دورة كارنو المثالية هي جهاز ماكر لتحقيق النتيجة المتناقضة في نقل الحرارة بين منبعين على درجات حرارة مختلفة دون أي تماس بين أجسام على درجات مختلفة من الحرارة، وهي مقسمة إلى أربعة مراحل. تكون المنظومة خلال مرحلتي تساوي الإحرار isothermal على تماس بأحد منبعي الحرارة وتبقى بدرجة حرارة هذا النبع. عندما تكون على تماس بالنبع الحار فهي تمتص الحرارة وتتمدد؛ وعندما تكون على تماس مع المنبع البارد هي تفقد الحرارة وتنكمش. وترتبط مرحلتا تساوي الاحرار بمرحلتين تكون فيهما المنظومة معزولة عن المنبعين – أي أن الحرارة لا تدخل ولا تغادر المنظومة ولكن درجة حرارة المنظومة تتغير نتيجة للتمدد والانكماش. ويتابع الحجم في التغير حتى تكون المنظومة قد مرت من درجة حرارة المنبع إلى درجة حرارة المنبع الآخر.



الشكل (٢)

مخطط الضغط – الحجم لدورة كارنو: آلة حرارية تعمل بين منبعين "حار" في درجة حرارة T_H والآخر "بارد" في درجة حرارة T_L. بين المرحلة (a) والمرحلة (b) هناك تغير **لا إحراري** isothermal: المنظومة محفوظة على درجة حرارة (T_H) تمتص الحرارة وتتمدد. بينما تبقى معزولة حراريا بين المرحلة (b) و(c) ؛ حيث تنخفض درجة حرارتها من (T_H) إلى (T_L). وهاتان الخطوتان تنتجان قدرة ميكانيكية. هناك تغير لا إحراري آخر بين المرحلة (c) و(d) حيث تنضغط المنظومة وتطلق الحرارة بينما تبقى درجة الحرارة (T_L). أما بين المرحلة (d) و(a) فتنضغط المنظومة المعزولة وتزداد درجة الحرارة إلى T_H.

إنه من المدهش حقاً أن هذا الوصف لآلة حرارية مثلى لا يذكر السيرورات اللاعكوسة التي هي أساس تحققها، ولا يذكر الأتون حيث يتم حرق الفحم. يهتم النموذج فقط *بتأثير* الاحتراق الذي يسمح بإبقاء اختلاف درجة حرارة المنبعين محفوظاً.

في سنة ١٨٥٠ وصف كلاوزيوس Clausius دورة كارنو من منظورٍ جديد معتمد على انحفاظ الطاقة. ولقد اكتشف أن الحاجة لمنبعين وصيغة المردود النظري كما ذكرها كارنو تُعبِّر عن مشكلة في الآلات الحرارية: الحاجة إلى عملية تعويض للتحويل (في المثال الحالي التبريد بالتماس مع المنبع البارد) للرجوع بالآلة إلى الشروط الميكانيكية والحرارية الأصلية. وتضاف إلى علاقات

توازن تعبر عن *تحولات* طاقة،علاقات *تكافؤ* جديدة بين تأثيرات سيرورتين على حالة المنظومة، *التدفق* الحراري بين منبعين، وتحول الحرارة إلى عمل. وينشأ الآن علم جديد هو الترموديناميك يربط بين التأثيرات الميكانيكية والحرارية.

برهنَ عمل كلاوزيوس بوضوح أنه لا يمكننا بدون ضابط استعمال خزان الطاقة الذي يبدو لا يمكن استنزافه والذي تقدمه الطبيعة. ليست كل السيرورات الحافظة للطاقة ممكنة فمثلاً لا يمكن تخليق اختلاف في الطاقة دون تحطيم اختلاف معادل على الأقل للطاقة. وهكذا ففي دورة كارنو المثالية ثمن العمل المنتج هو مدفوع بالحرارة التي تنتقل من منبع إلى آخر. والنتيجة كما يعبر عنها بالعمل الميكانيكي الناتج من جهة ونقل الحرارة من جهة أخرى هي مرتبطة بتكافؤ. هذا التكافؤ صحيح بالاتجاهين. بالعمل عكسياً فإن الآلة ذاتها يمكن أن تعيد اختلاف درجة الحرارة بينما تستهلك العمل الناتج سابقاً. لا يمكن تركيب آلة تستعمل منبعا وحيدا للحرارة.

ولم يكن كلاوزيوس أكثر اهتماماً من كارنو بالضياعات التي تتم في الآلات الفعلية التي لها مردود أقل من القيمة المثلى المعطاة نظرياً. وينتمي توصيفه كذلك الذي لكارنو إلى ذات المثالية، وهو يقود إلى تعريف حدٌ تضعه الطبيعة لنتاج الآلات الحرارية.

إلا أنه منذ القرن الثامن عشر تغيرت مكانة هذه المثالية.فلقد ادعى العلم الجديد معتمدا على مبدأ انحفاظ الطاقة ليس فقط وصف المثاليات ولكن الطبيعة ذاتها مع "**الضياعات**". وأبرز هذا مشكلة جديدة التي دخلت منها اللاعكوسية في الفيزياء. كيف يمكن وصف ما الذي يحدث فعلاً في آلة حقيقية؟ كيف يمكن احتواء الضياعات في توازن الطاقة؟ كيف تنقص هذه الضياعات المردود؟ عبَّدت هذه الأسئلة الطريق إلى القانون الثاني للترموديناميك.

من التكنولوجيا إلى علم الكون

كما رأينا فإن السؤال الذي تساءله كارنو وكلاوزيوس قاد إلى توصيفٍ لآلاتٍ مثالية مبنيةٍ على انحفاظ وتعويض. بالإضافة إلى ذلك فإنه أعطى فرصةً لتقديم مسائل جديدة مثل تبدد الطاقة. لقد كان وليم طومسون William Thomson، الذي يحترم كثيراً عمل فورييه، سريعاً في إدراك أهمية المسألة وفي سنة ١٨٥٢ كان أول من صاغ القانون الثاني للترموديناميك.

لقد كان انتشار الحرارة كما وصفه فورييه هو الذي تعَرَّف عليه كارنو كسببٍ محتملٍ لضياعات القدرة في الآلة الحرارية. وهكذا أصبحت دورة كارنو، التي لم تعد الدورة المثالية بل الدورة "الفعلية"، نقطة تجمع ***لعموميتين*** اكتشفتا في القرن التاسع عشر - تحول الطاقة وانتشار الحرارة. وقاد المركب من هذين الاكتشافين طومسون لأن يصوغ مبدأه الجديد: يوجد في الطبيعة ***ميل عمومي*** نحو انحفاظ في الطاقة الميكانيكية. لاحظ كلمة "عمومي" التي لها معان متضمنة كونية واضحة.

كان عالم لابلاس أزلياً، آلة مثالية دائمة الحركة. وحيث أن علم الكون لدى طومسون ليس فقط انعكاسا للآلة الحرارية المثالية ولكنه يحوي أيضاً على نتائج انتشار الحرارة اللاعكوس في عالم حيث الطاقة محفوظة. يُوصَّف هذا العالم على أنه آلة حيث لا تتحول الحرارة إلى حركة إلا بدفع ثمن من الضياع اللاعكوسة ومن التبدد اللامجدي. والفروقات التي تنتج تأثيرا في الطبيعة هي إلى زوال. ويستهلك العالم فروقاته عندما ينتقل من تحول إلى آخر ويميل إلى حالة نهائية من التوازن الحراري،"الموت الحراري ".وحسب قانون فورييه في النهاية لن تكون هناك فروقات في الحرارة لتنتج تأثيرا ميكانيكيا.

هكذا قام طومسون بقفزة مدوخة من تكنولوجيا الآلات إلى علم الكون. ولقد ألبس صياغة قانونه الثاني العبارات الفلسفية لعصره : انحفاظ الطاقة والآلات وقانون فورييه. ومن الواضح بالإضافة إلى ذلك لعب السياق الثقافي لعصره دوراً مهماً. من المقبول عموماً أن مسألة الزمن أخذت أهمية جديدة خلال القرن التاسع عشر. ففي الواقع بُدِئ بملاحظة الدور المحوري للزمن في كل الحقول – في الجيولوجية والبيولوجية،في اللغة كما في دراسة التطور الاجتماعي الإنساني وفي الأخلاق. ولكن من الممتع أن الشكل الخاص الذي تم به إدخال الزمن إلى الفيزياء على أنه اتجاه نحو التجانس والموت يُذكِّرنا بالنماذج الأسطورية والدينية القديمة أكثر مما يذكرنا بالتعقيد المتنامي والمتنوع الذي توصفه البيولوجية والعلوم الاجتماعية. يمكن أن يُنظَر إلى عودة هذه الموضوعات القديمة على أنه انعكاس ثقافي للفورنات الثقافية والاقتصادية لتلك الأيام. التحول السريع في النموذج التكنولوجي للتفاعل مع الطبيعة، الخطوات المتسارعة دوما في التغيير الذي عاناه القرن التاسع عشر كل هذه أنتجت قلقا عميقا. ولانزال نعاني من هذا القلق الذي يأخذ أشكالاً شتى من الاقتراحات المتكررة "للنمو الصفري" للمجتمع أو إلى التوقف عن البحث العلمي وإلى إعلانٍ عن "حقائق علمية" تتعلق بكوننا المتحلل. لا تزال المعرفة الحالية بالفيزياء الفلكية قليلة ومتشاكلة حيث تلعب في هذا الحقل تأثيرات الجانبية الدور الأكبر وتقتضي المسائل استعمال الترموديناميك والنسبية معا ومع ذلك فمعظم النصوص في هذا الحقل متوافقة على التنبؤ بمصير نهائي. ونقرأ في خلاصة كتاب حديث:

تبدو الحقيقة المرَّة أن الكون كما يبدو لنا يتحلل بشكل لا يلين، ويتحلل التنظيم الذي يُدعِّم كل الفعاليات المنظمة من الإنسان وحتى المجرات بشكل بطيء ولكنه حتمي ويمكن أن يتم القضاء عليه بتهدم جاذبي كلي يجعله نسيا منسياً[١٤].

البعض الآخر هم أكثر تفاؤلا. ففي مقالة جديدة حول طاقة الكون كتب فريمان ديسون Freeman Dayson:

يمكن تصور أن الحياة يمكن أن يكون لها دور لتلعبه أكبر مما تصورنا.حيث يمكن للحياة أن تنجح رغم كل العقبات في تشكيل الكون حسب هدفها. وإن تصميم الكون اللاحي يمكن أن لا يكون بعيداً عن متناول إمكانيات الحياة والذكاء كما حاول علماء القرن العشرين افتراضه[١٥].

بالرغم من التقدم الهام الذي قام به هوكينغ Hawking وآخرون فإن معرفتنا بالتحولات على المقياس الكبير لكوننا تبقى غير كافية.

مولد الأنطروبية

في سنة ١٨٦٥ كان دور كلاوزيوس Clausius أن يقوم بالقفزة من التكنولوجيا إلى علم الكون. في البدء أعاد صياغة نتائجه السابقة فقط، ولكنه بعمله هذا أدخل تصوراً جديداً هو ***الأنطروبية***. وكان هدفه الأولي التمييز بوضوح بين تصورات الانحفاظ والعكوسية. دون أن تكون مشابهة للتحولات الميكانيكية، حيث تتطابق العكوسية والانحفاظ، يمكن للتحولات الفيزيوكيميائية أن تحافظ على الطاقة مع أنه لا يمكن عكسها. وهذا صحيح مثلاً في حالة الاحتكاك حيث تتحول الحركة إلى حرارة أو في حالة انتشار الحرارة كما وصفها فورييه.

إننا معتاد ون على الطاقة التي هي دالة لحالة المنظومة - أي دالة تعتمد فقط على قيمة المتحولات (الضغط والحجم ودرجة الحرارة) التي يتم بها تعريف تلك الحالة[١٦]. ولكننا يجب أن نذهب أبعد من مبدأ انحفاظ الطاقة

وأن نجد طريقة للتعبير عن التمييز بين تبادلات الطاقة "المفيدة" في دورة كارنو والطاقة "المبددة" التي تضيع لا عكوسياً.

وهذا هو بالضبط دور دالة كلاوزيوس الجديدة للأنطروبية التي يرمز لها عموما بـــ (S).

على ما يبدو فإن كلاوزيوس أراد فقط أن يعبر بشكل جديد عن المطلوب للرجوع بالآلة إلى حالتها الابتدائية. إن التعريف الأولي للأنطروبية هو متركز على الانحفاظ: في نهاية كل دورة أكانت مثالية أم لا فإن دالة حالة المنظومة،الأنطروبية،تعود إلى قيمتها الأولية. ولكن التوازي بين الأنطروبية والطاقة ينتهي حالما نترك المجال المثالي.[١٧]

لنأخذ تحول الأنطروبية (dS) خلال فترة زمنية قصيرة (dt) فالوضع مختلف تماما بين الآلات المثالية والواقعية، في الحالة الأولى يمكن التعبير عن (dS) تماما بحدود التبادلات بين الآلة والمحيط.يمكننا أن نصمم تجارب حيث تُفقَد الحرارة من المنظومة بدلا من أن تُعطَى لها. والتغير الموازي في الأنطروبية لا يعني إلا ببساطة تغيير إشارتها. هذا النوع من الإسهام للأنطروبية الذي سندعوه (d_eS) هو لذلك **عكوس** بمعنى أنه يمكن أن تكون له إشارة موجبة أو سالبة. أما الأمر في الآلات الفعلية فهو مختلف جذريا. هنا بالإضافة إلى التبادلات العكوسة هناك سيرورات ***لاعكوسة*** داخل المنظومة، مثل الفواقد الحرارية والاحتكاك وغيرها. وهذه تنتج زيادة في الأنطروبية أو "إنتاج انطروبية" داخل المنظومة. هذه الزيادة في الأنطروبية التي سندعوها (d_iS) لا يمكن أن تغير إشارتها من خلال قلب اتجاه التبادل الحراري مع العالم الخارجي وفي كل السيرورات اللاعكوسة (مثل انتشار الحرارة) يسير إنتاج الأنطروبية في نفس الاتجاه. بكلمات أخرى فإن (d_iS)

لا يمكن أن تكون إلا موجبة أو تتلاشى في غياب سيرورات لا عكوسة. لاحظ أن الاتجاه الإيجابي للأنطروبية هو خيار اتفاقي فقط؛ وكان من الممكن أن يكون سالبا. النقطة المهمة هي أن تغييرات الأنطروبية هي مطردة وأن إنتاج الأنطروبية لا يمكن أن يغير إشارته مع مسير الزمن.

الرموز $(d_e S)$ و$(d_i S)$ اختيرت لتذكير القارئ أن التعبير الأول يشير إلى ***تبادلات*** مع العالم الخارجي، بينما يشير الثاني إلى السيرورات اللاعكوسة ***داخل (i)*** المنظومة. وهكذا فإن تغير الأنطروبية (dS) هو مجموع حدين $(d_e S)$ و$(d_i S)$ واللذان لهما معاني مختلفة تماماً.[١٨]

لإدراك الخاصية الغريبة لهذا التحليل للانطروبية إلى جزأين فإنه من المفيد أن نطبق صياغتنا على الطاقة. لنرمز للطاقة بـــ (E) وبالتغير خلال زمن قصير (dt) بـــ (dE) بالطبع سنكتب أن dE هي مجموع $d_e E$ ناتجة عن تبادلات في الطاقة و$d_i E$ لها علاقة بـــ "الإنتاج الداخلي" للطاقة. ولكن مبدأ انحفاظ الطاقة ينص على أنه لا يمكن "إنتاج" طاقة أبداً بل نقلها من موضع إلى آخر. وهكذا فإن التغير في الطاقة (dE) يرجع فقط إلى $(d_e E)$. ومن جانب آخر إذا أخذنا كمية غير محفوظة مثل كمية من ذرات الهيدروجين في وعاء، فإن هذه الكمية يمكن أن تتغير نتيجة إضافة هيدروجين إلى الوعاء أو نتيجة تفاعلات تجري داخل الوعاء. ولكن في هذه الحالة فإن إشارة "الإنتاج" ليست محددة، وحسب الظروف يمكننا إنتاج أو تحطيم ذرات الهيدروجين بنقل ذرات من الهيدروجين إلى مركبات كيميائية أخرى، إن الخاصية الفريدة للقانون الثاني هي أن حد الإنتاج $(d_i S)$ ***هو دوماً موجب***. إن إنتاج الأنطروبية يعبر عن حدوث تغيرات لاعكوسة داخل المنظومة.

لقد تمكن كلاوزيوس من التعبير كمياً عن جريان الأنطروبية (d_eS) بحدود الحرارة المستلمة أو (المعطاة) من المنظومة. وفي عالم تهيمن عليه تصورات العكوسة والانحفاظ كان ذلك هو الهم الرئيسي. وكلاوزيوس معتبرا السيرورات اللاعكوسة المتضمنة في إنتاج الأنطروبية نصَّ ببساطة على وجود المتراجحة ($d_iS/dt > 0$). ومع أنه تم تقدم مهم لأنه إذا تركنا دورة كارنو واعتبرنا منظومات ترموديناميكية أخرى ***فإنه لا يزال ممكناً التمييز بين جريان الأنطروبية وإنتاجها***. فإن جريان الأنطروبية في منظومة معزولة ليس لها أي تبادل مع المحيط الخارجي هوبالتعريف صفر. ويبقى فقط حد الإنتاج ولا يمكن لأنطروبية المنظومة إلا أن تزداد أو تبقى ثابتة. إذن هنا لم تعد المسألة تتعلق بتحولات لا عكوسة معتبرة على أنها تقريبات لتحولات عكوسة؛ يتعلق ازدياد الأنطروبية ***بالتطور التلقائي*** للمنظومة. وهكذا تصبح الأنطروبية "مؤشراً للتطور" أو "سهما للزمن" كما أسماها إدينغتون Eddington بحق. المستقبل بالنسبة للمنظومات المعزولة هو في اتجاه ازدياد الأنطروبية.

و أية منظومة هي أفضل "عزلاً" من الكون ككل؟ وهذا التصور هو الأساس في الصياغة الكونية لقانوني الترموديناميك الذي قدمه كلاوزيوس سنة ١٨٨٥:

طاقة الكون هي ثابتة

وأنطروبية الكون تتزايد إلى نهاية عظمى[١٩].

إن عبارة أن أنطروبية منظومة معزولة تتزايد إلى نهاية عظمى تتجاوز كثيرا المسألة التكنولوجية التي سببت نشوء الترموديناميك. لم تعد الأنطروبية المتزايدة مرادفة لضياع ولكنها الآن تشير إلى ***سيرورات طبيعية***

ضمن المنظومة. هذه السيرورات التي تقود المنظومة في النهاية إلى "التوازن" الترموديناميكي الذي يتعلق بحالة الأنطروبية الأعظمية.

أكدنا في الفصل الأول على عنصر المفاجأة المتضمن في اكتشاف نيوتن للقوانين العامة للديناميك. وهنا أيضا فإن عنصر المفاجأة واضح. وعندما صاغ سادي كارنو قوانينه للآلات الحرارية المثالية كان بعيدا عن أن يتخيل أن عمله سيؤدي إلى ثورة في التصورات الفيزيائية.

تنتمي التحولات العكوسة إلى العلم الكلاسيكي بمعنى أنها تُعرِّف إمكانية التأثير على منظومة وعلى التحكم بها.و يمكن التحكم ***بموضوع الديناميك*** ***dynamic object*** من خلال شروطه الابتدائية. وبالمثل عندما يتم تعريف ***موضوع الترموديناميك*** بعبارات تحولاته العكوسة فإنه يتم التحكم به من خلال شروطه الحدية. تمر أية منظومة في حالة توازن ترموديناميكي والتي تتغير ***تدريجيا*** درجة حرارتها أو حجمها أو ضغطها،في سلسلة حالات توازن، وإن أي عكس في المنابلة يقود إلى إعادتها إلى حالتها الأولية. الطبيعة العكوسة لتغير كهذا والتحكم بالموضوع من خلال شروطه الحدية هي سيرورات متعلقة ببعضها. في هذا السياق اللاعكوسية هي "سلبية"؛ وتبدو على شكل تغيرات "غير متحكم بها" والتي تحدث متى تمكنت المنظومة من تحاشي التحكم. ولكن على العكس يمكن اعتبار السيرورات اللاعكوسة على أنها البواقي الأخيرة ***للفعالية*** الأصلية والتلقائية التي تظهرها الطبيعة عندما تستعمل أدوات التجربة لتملك ناصيتها.

وهكذا تُظهِرُ الخاصية "السلبية" للتبدد أن مواضيع الترموديناميك لا تشبه مواضيع الديناميك من حيث أنه يمكن التحكم بها ***جزئيا*** فقط. أحيانا هي "تنطلق" إلى تغيير تلقائي عفوي.

ليست كل التغيرات متكافئة بالنسبة لمنظومة ترموديناميكية. وهذا هو معنى العلاقة $dS = d_eS + d_iS$. التغير التلقائي d_iS نحو التوازن هو مختلف عن التغير d_eS الذي يتم التحكم به وتحديده بتعديل شروط الحد (مثلا الحرارة المحيطية). يظهر التوازن في منظومة معزولة على أنه "جاذب" attractor لحالات توازن. وبهذا يمكن تفهم تأكيدنا الأولي بالقول أن التطور نحو حالة جاذب يختلف عن كل التغيرات الأخرى وخاصة التغيرات المعينة من شروط الحد.

لقد أكد ماكس بلانك Max Blank كثيراً على الاختلاف بين نوعين من التغيرات في الطبيعة. ويبدو أن الطبيعة كما كتب بلانك "تفضل" بعض الحالات. إن الازدياد اللاعكوس في الأنطروبية (d_iS) يُوصِّفُ اقتراب منظومة من حالة "تجذبها" والتي تفضلها المنظومة والتي لن تتحرك منها "بإرادتها الحرة". "من وجهة النظر هذه لا تسمح الطبيعة للسيرورات التي حالتها النهائية أقل جذباً من حالتها الابتدائية. والسيرورات العكوسة هي حالات حدية. تجد الطبيعة فيها ميلاً متساوياً للحالات النهائية والابتدائية؛ ولهذا كان الممر بينهما بالاتجاهين"[٢٠].

كم تبدو هذه اللغة غريبة عندما تقارن بلغة الديناميك! ففي الديناميك تتحول المنظومة حسب مسار معطى مرة وإلى الأبد، والذي لا تنسى أبداً نقطة بدايته (حيث أن الشروط الابتدائية تعين المسار لكل الأزمان). إلا أنه في منظومة معزولة ***كل*** الأوضاع اللامتوازنة تنتج تطوراً نحو ***نفس*** حالة التوازن. وحين تصل المنظومة إلى حالة التوازن هذه فإنها ***تنسى*** شروطها الابتدائية – أي الطريقة التي تمت بها.

وهكذا فإن الحرارة النوعية أو قابلية انضغاط منظومة في حالة توازن هي خواص مستقلة عن الطريقة التي تم فيها إعداد المنظومة.هذا

الحدث المؤاتي يُبسِّط كثيرا دراسة الحالات الفيزيائية للمادة. في الواقع تتكون المنظومات المعقدة من عدد كبير من الجسيمات(*). ومن وجهة نظر الديناميك فإنه من المستحيل عملياً إعادة إنتاج أية حالة لهذه المنظومات بسبب التنوع اللانهائي لديناميك الحالات التي يمكن أن تحدث.

إننا نواجه الآن نوعين مختلفين أساساً من التوصيفات: الديناميك الذي ينطبق على عالم الحركة، والترموديناميك، علم المنظومات المعقدة ذات اتجاه التطور الذاتي نحو انطروبية متزايدة. هذه الثنائية المتعارضة تثير فوراً السؤال كيف هي العلاقات بين هذه التوصيفات، هذه المسألة التي نوقشت منذ صياغة قوانين الترموديناميك.

مبدأ بولتزمن للنظام

يحتوي قانون الترموديناميك الثاني على عنصرين أساسيين: (١) عنصر "سلبي" والذي يعبر عن استحالة بعض السيرورات (جريان الحرارة من منبع حار إلى بارد. وليس العكس)، (٢) وعنصر "إيجابي" بنَّاء. والثاني ناتج عن الأول؛ إنه استحالة حدوث بعض السيرورات والتي تسمح لنا بإدخال دالة، هي الأنطروبية، التي تتزايد بانتظام في المنظومات المعزولة. تتصرف الأنطروبية كجاذب للمنظومات المعزولة.

(*) في الكيمياء الفيزيائية يستعمل عادة عدد أفوغادرو - أي عدد الذرات في ذرة غرامية والتي تحوي دوما نفس العددمن الذرات. عدد الذرات الموجودة في غرام واحد من الهيدروجين. هذا العدد هو من مقياس 6×10^{23} وهو المقياس المميز لحجم عدد الجزيئات المشكلة للمنظومات المحكومة بقوانين الترموديناميك الكلاسيكي.

كيف يمكن لصياغات للترموديناميك أن تتوافق مع الديناميك؟ بدا لمعظم العلماء في نهاية القرن التاسع عشر أن هذا الأمر مستحيل. كانت مبادئ الترموديناميك الجديدة قوانين جديدة تشكل الأساس لعلم جديد والذي لا يمكن إرجاعه إلى الفيزياء التقليدية. وعلينا القبول بالتنوع الوصفي للطاقة وميلها نحو التبدد على أنها بديهيات جديدة. كانت هذه حجة "الطاقيين" energeticists في معارضة للذريين، الذين رفضوا أن يتخلوا عما اعتبروه الرسالة الأساسية للفيزياء – إرجاع الظواهر الطبيعية المعقَّدة إلى بساطة السلوك الابتدائي كما هو مُعبَّرٌ عنه في قوانين الحركة.

و في الواقع فان مشاكل الانتقال من المستوى الصغري إلى المستوى الجهري قد برهنت على خصوبة غير عادية في تقدم الفيزياء ككل. ولقد كان بولتزمن أول من قبل التحدي. لقد شعر أن هناك ضرورة لتطوير تصورات جديدة لكي تغطي فيزياءُ المسارات الوضعَ الذي وصفه الترموديناميك. بحث بولتزمن،سائراً على درب ماكسويل، عن هذا التجديد في التصورات، في نظرية الاحتمالات.

لم يكن مفاجئاً أنه يمكن للاحتمالات أن تلعب دوراً في توصيف الظواهر المعقدة: ويبدو أن ماكسويل ذاته كان قد تأثر بأعمال كواتليه Quetelet مخترع الإنسان "الوسطي" في علم الاجتماع. كان التجديد بإدخال الاحتمالات في الفيزياء ليس كوسائط تقريب ولكن كمبدأ مفسر باستعمالها لتبيان أن المنظومة يمكن أن تظهر نوعاً جديداً من السلوك لكونها مشكلة من عدد كبير من السكان وبذلك يمكن تطبيق قوانين الاحتمالات عليها.

لنأخذ مثالاً بسيطاً على تطبيق فكرة الاحتمال في الفيزياء. ليكن لدينا مجموعة مكونة من N جسيم موجودة في صندوق وموزعة على قسمين

متساويين، والمسألة هي في إيجاد احتمالات التوزعات الممكنة المختلفة للجسيمات بين القسمين – أي احتمال وجود N_1 جسيم في القسم الأول و $N_2 = N - N_1$ في القسم الثاني.

باستعمال الحساب التوافقي من السهل حساب عدد الطرق التي يتم فيها كل توزع مختلف لـــ N جسيم. وهكذا إذا كانت N=٨ لا يوجد إلا طريقة واحدة لوضع ثمانية جزيئات في نصف واحد. ولكن هناك ثمانية طرق مختلفة لوضع جزيء واحد في نصف واحد والسبعة الباقية في النصف الآخر، إذا افترضنا أن الجزيئات غير مميزة كما هو مفترض في الفيزياء الكلاسيكية. بالإضافة إلى ذلك فإن توزيعاً متساوياً للجزيئات الثمانية بين القسمين يمكن أن يتم بـــ ٨!/٤!٤!=٧٠ طريقة مختلفة (حيث n!=١، ٢، ٣، ٤...(n-١).n). وبالمثل مهما كانت قيمة N فإن عدداً (P) للحالات وهي تسمى في الفيزياء ***العقديات complexions*** يمكن أن تعَّرف بإعطاء عدد الطرق التي يتم فيها الوصول إلى توزيع معين (N_2 ، N_1) وصيغتها هي: $P = N!/N_1!N_2!$.

لأي مجموعة من العشيرة population كلما كان عدد العقديات أكبر كلما كان الفرق بين N_1 و N_2 أصغر. وهو أعظمي عندما يكون توزع السكان متساوياً في القسمين.بالإضافة إلى ذلك كلما كانت قيمة N أكبر،كلما كان أكبر الفرق بين عدد العقديات التعلقة بالطرق المختلفة للتوزيع. لقيم لـــ N من حجم (١٠E٢٣) المتواجدة في المنظومات الجهرية فإن الغالبية العظمى للتوزعات الممكنة تتعلق بالتوزيع ($N_1 = N_2 = N/2$). وهكذا ففي منظومات تحوي عدداً كبيراً من الجزيئات، كل الحالات التي تختلف عن الحالة التي يكون فيها التوزيع متساوياً هي غير محتملة بشكل كبير.

لقد كان بولتزمن أول من أدرك أن الزيادة اللاعكوسة في الأنطروبية يمكن أن ينظر إليها على أنها تعبيّر عن فوضى متنامية للذرات، وعن تناسٍ تدريجي لأي عدم تناظر بدئي حيث أن عدم التناظر يُنقِصُ من عدد العقديات بالمقارنة مع الحالة المقابلة لقيمة أعظميه لـــ (P). وهكذا كان هدف بولتزمن هو أن يطابق بين الأنطروبية (S) مع عدد العقديات: تُوصِّف الأنطروبية كل حالة جهرية بعبارات عدد الطرق للوصول إلى هذه الحالة. ومعادلة بولتزمن ($S=k\ lg\ P$)(*) تُعبر عن هذه الفكرة بشكل كمي. وعامل التناسب (k) في هذه المعادلة هو عامل كلي يعرف بثابت بولتزمن.

تعني نتائج بولتزمن أن التغيير الترموديناميكي اللاعكوس هو تغيير نحو حالات تزايد في الاحتمال وأن حالة الجاذب هي الحالة الجهرية التي تتعلق بالاحتمال الأعظمي. هذا يأخذنا بعيداً عن نيوتن. هذه هي أول مرة يتم فيها شرح تصور فيزيائي بتعابير احتمالية. وفائدتها ظاهرة للعيان. يمكن أن تشرح الاحتمالات بشكل كاف نسيان المنظومة لكل عدم تناظر في البداية وكل التوزيعات الخاصة (مثلاً تجمع كل الجسيمات في جزء من فراغ المنظومة، أو توزع السرعات الذي يتشكل عندما يمزج غازين على درجتين مختلفتين من الحرارة). هذا النسيان ممكن لأنه ***مهما كان التطور الخاص للمنظومة*** فإنه في النهاية سيقود إلى إحدى الحالات الصغرية التي تتعلق بالحالة الجهرية للفوضى وذات التناظر الأعظمي، حيث أن هذه الحالات الجهرية تقابل معظم الحالات الصغرية الممكنة. ومتى تم الوصول إلى هذه

(*) يشير التعبير اللوغاريتمي إلى أن الأنطروبية هي كمية قابلة للجمع ($S_{1+2} = S_1 + S_2$) بينما العقديات هي كميات قابلة للضرب ($P_{1+2} = P_1 \times P_2$).

الحالة فإن المنظومة لن تبتعد عنها إلا لمسافات صغيرة ولفترات قصيرة فقط. بكلمات أخرى ***ستتأرجح*** المنظومة قليلا فقط حول حالة الجذب هذه.

يقتضي مبدأ بولتزمن في النظام أن الحالة الأعظم احتمالاً الممكنة للمنظومة هي تلك التي فيها الحوادث الجارية ***تتعاوض*** ***compensates*** ***معا مع بعضها إحصائياً.*** في حالة مثالنا الأول مهما كان التوزيع الأولي فإن تطور المنظومة سيقود في النهاية إلى توزيع متساو($N_1 = N_2$). وهذه الحالة ستضع حداً للتطور الجهري اللاعكوس للمنظومة. بالطبع ستتابع الجسيمات التحول من نصف إلى آخر ولكن الوسطي في أية لحظة ***عدد ما يتجه إلى جهة يعادل عدد ما يتجه إلى الجهة الأخرى.*** وكنتيجة لهذا فإن حركتها ستحدث كتأرجحات صغيرة ولزمن قصير حول حالة التوازن ($N_1 = N_2$)، وهكذا فإن تأويل بولتزمن الإحصائي يجعل من الممكن فهم خصوصية الجانب الذي يدرسه التوازن الترموديناميكي.

هذه ليست كل القصة سنخصص القسم الثالث من هذا الكتاب لمناقشة أكثر استفاضة، وتكفي هنا بعض الملاحظات.يتعين كل شيء في الميكانيك الكلاسيكي (وكما سنرى كذلك في ميكانيك الكم) بحدود الحالات الابتدائية وقوانين الحركة. كيف ندخل إذن الاحتمالات إلى توصيف الطبيعة؟ وهنا من الشائع استذكار جهلنا بالحالة الديناميكية الدقيقة للمنظـومة، وهـذا هـو التـأويل الـذاتي subjecitivistic interpretation للأنطروبية. كان هذا التأويل مقبولاً عندما كانت تعتبر السيرورات اللاعكوسة مجرد ازعاجات تعود إلى احتكاك وعموما إلى فواقد في تشغيل الآلات الحرارية. ولكن تبدل الموقف اليوم، فكما سنرى فإن السيرورات اللاعكوسة لها أهمية بناءة كبيرة: ولم تكن الحياة ممكنة بدونها. ولهذا فإن التأويل الذاتي موضع تساؤل كبير، هل نحن ذاتنا نتيجة جهلنا فقط، لواقع أننا نلاحظ فقط الحالات الجهرية.

بالإضافة إلى ذلك يبدو في الترموديناميك كما في التأويل الاحتمالي أن هناك لا تناظر في الزمن: تزداد الأنطروبية باتجاه المستقبل وليس باتجاه الماضي. يبدو هذا مستحيلاً إذا نظرنا إلى معادلات الديناميك التي هي لا متغيرة بالنسبة لعكس الزمن. وكما سنرى فإن القانون الثاني هو مبدأ اصطفائي يتوافق مع الديناميك ولكنه لا يُستَنتَج منه. إنه يحدد الشروط الابتدائية الممكنة لمنظومة ديناميكية، ولهذا فإن القانون الثاني يؤشر لافتراق جذري مع العالم الميكانيكي للديناميك الكلاسيكي أو الكمومي. ولنعد الآن إلى عمل بولتزمن.

بحثنا حتى الآن في المنظومات المعزولة التي فيها عدد الجسيمات وكذلك الطاقة الكلية محددة بشروط الحد. إلا أنه يمكن تعميم تفسير بولتزمن على المنظومات المفتوحة التي تتفاعل مع محيطها. في منظومة مغلقة مُعرَّفة بشروط الحد بحيث تبقى درجة حرارتها (T) ثابتة بالتبادل الحراري مع المحيط فإن التوازن لا يُعرَّف بعبارات الأنطروبية الأعظمية ولكن بعبارات الحد الأدنى لدالة مشابهة، الطاقة الحرة ($F=E-TS$) حيث (E) هي طاقة المنظومة و(T) هي درجة الحرارة على مقياس كالفن حيث درجة تجمد الماء هي٢٧٣K ودرجة الغليان K٣٧٣).

تعني هذه العلاقة أن حالة التوازن هي نتاج تنافس بين الطاقة والأنطروبية. ودرجة الحرارة هي ما يعين الوزن النسبي لكل منهما. تسود الطاقة في درجات الحرارة المنخفضة ونحصل على تشكل بنى ***منظمة ordered*** (أنطروبية ضعيفة) وعلى بنى ذات طاقة ***منخفضة low-energy*** مثل البلورات. داخل هذه البنى تتفاعل كل ذرة مع جارتها والطاقة الحركية المتضمنة صغيرة بالنسبة للطاقة الكامنة الناتجة عن تفاعل كل ذرة مع جارتها. يمكننا تخيل أن كل ذرة مسجونة بتفاعلاتها مع جاراتها. إلا أنه في

درجات الحرارة العالية تسود الأنطروبية وكذلك الفوضى الذرية. تتزايد أهمية الحركة النسبية ويتحطم تناسق البلورة؛ وعندما تزداد الحرارة أكثر يحدث لدينا حالة سيلان ثم حالة غازية.

وهكذا فإن الأنطروبية S لمنظومة معزولة والطاقة الحرة F في درجة حرارة ثابتة هما مثالان "لكمونات ترموديناميكية" والحدود القصوى لهذه الكمونات مثل S وF تعرِّف الحالات الجاذبة التي تتجه إليها تلقائياً المنظومات ذات الشروط الحدية التي تنتمي إلى تعاريف هذه الكمونات.

يمكن استعمال مبدأ بولتزمن أيضاً في دراسة الوجود معاً لبنى (مثل حالة سائل أو غاز) أو توازن بين ناتج بلوري مع محلوله. إلا أنه من الضروري التذكر أن البنى المتوازنة هي معرَّفة على المستوى الجزيئي. إنه التفاعل بين جزيئات تتفاعل في مجال ١٠E-٨cm وهو ذات المجال للذرات في الجزيئات وهذا ما يجعل البنى البلورية ثابتة ويعطيها خواصها الجهرية. إلا أن حجم البلورة ليس صفة خصوصية للبنى. إنها تتعلق بكمية المادة في الطور البلوري في حالة التوازن.

كارنو وداروين

يقدم التوازن الترموديناميكي تفسيراً كافياً لعدد كبير من الظواهر الفيزيوكيميائية. مع ذلك يمكن السؤال فيما إذا كانت فكرة البنى المتوازنة تشمل البنى المختلفة التي نراها في الطبيعة. بوضوح الجواب كلا.

يمكن النظر إلى بنى التوازن على أنها ناتجة عن التعويض الإحصائي لفعالية العناصر الصغرية (جزيئات وذرات). بالتعريف إنها

هامدة على المستوى الكلي. ولهذا السبب هي أيضاً "أبدية" immortal. متى تشكلت فإنه يمكن عزلها وإبقاؤها أبداً دون أي تفاعل مع محيطها. عندما ندرس خلية بيولوجية أو مدينة فالموقف بالطبع مختلف جدا: ليست هذه المنظومات مفتوحة فقط ولكنها موجودة لأنها مفتوحة. إنها تتغذى على فيض المادة والطاقة اللذان يأتيانها من العالم الخارجي. يمكننا عزل بلورة ولكن المدن والخلايا تموت إذا عزلناها عن محيطها. إنها تشكل جزءا متمما للعالم الذي تأخذ منه مقوماتها ولا يمكن عزلها عن الفيوضات التي تُحوِّلها دون توقف.

إلا أنه ليست الطبيعة الحية فقط التي تبدو غريبة عن نماذج ترموديناميك التوازن. الهيدروديناميك والتفاعلات الكيميائية هي أيضا تتضمن تبادلاً للمادة والطاقة مع العالم الخارجي.

من الصعب رؤية كيف يمكن لمبدأ بولتزمن في النظام أن يطبق على حالات كهذه. يمكن فهم حقيقة أن أي منظومة تصبح أكثر تماثلاً مع سريان الزمن بعبارات العقديات؛ في حالة التماثل uniformity عندما تُنسَى "الفروق" المتكونة بسبب الشروط الابتدائية، فإن عدد العقديات يصبح أعظمياً. ولكن من المستحيل فهم الحمل التلقائي spontaneous convection من وجهة النظر هذه. إن تيار الحمل يستدعي اتساقاً لتعاون عدد كبير من الجزيئات. إنه بالعكس من الفوضى، الحالة المفضلة التي يقابلها عدد صغير نسبيا من العقديات. بعبارات بولتزمن هي حالة "مستحيلة". إذا كان من الواجب اعتبار الحمل "معجزة" فما الذي يمكن قوله إذن عن الحياة بصفاتها الخصوصية جدا والمتواجدة في أبسط المتعضيات؟

إن السؤال عن أهميةنماذج التوازن يمكن أن يعكس. لكي ينتج توازن على المنظومة أن تكون "محمية" من التدفقات التي تكوِّن الطبيعة. يجب أن "تعلّب" إذا سمحنا بهذا التعبير أو أن توضع في قنينة، مثل هومونوكلس Homunculus* في مسرحية ***فاوست*** لغوته Goethe الذي يخاطب السيميائي الذي كوَّنه: "تعال وضمني إلى صدرك ولكن برفق وليس بقوة خوفاً من أن ينكسر الزجاج، هكذا هي الأشياء! إذا كان الشيء طبيعياً فإن العالم بأكمله لا يكفيه، أما الصنعي فيتطلب مكاناً محصوراً". في العالم المعتاد التوازن حالة نادرة وقلقة. وحتى التطور نحو التوازن يتطلب عالماً مثل عالمنا بعيداً بما يكفي عن الشمس لكي يتم تخيل عزل جزئي (لا يمكن لأي "تعليب" أن يتحقق في حرارة الشمس)، ولكن عالماً كعالمنا حيث اللاتوازن هو القاعدة، "عالم فاتر" حيث يتواجد التوازن واللاتوازن معاً.

ومع ذلك فلزمن طويل ظن الفيزيائيون أنه يمكنهم تحديد البناء الجامد للبلورات على أنه النظام الوحيد الذي يمكن التنبؤ به وإعادة إجرائه وأن الاقتراب من التوازن هو التطور الوحيد الذي يمكن استنتاجه من القوانين الأساسية للفيزياء. وهكذا فإن أي محاولة لتعميم نوع التطور الذي توّصفه البيولوجية والعلوم الاجتماعية، من التوصيفات الترموديناميكية كان أن يُعرَّف على أنه نادر ولا يمكن التنبؤ به. فمثلاً كيف يمكن للتطور

(*) إنسان صغير جدا كان يظن في نظرية التشكل القبلي أنه موجود في النطفة أو الحيمن وعند التلقيح يكبر في رحم الأم ليصبح إنسانا كاملا بعد ذلك . شخصية إنسان صغير مصنعة سيميائيا في مسرحية فاوست لغوته . المترجم

الدارويني - ***الانتخاب*** الاحصائي لحوادث نادرة - أن يتوافق مع الغياب الاحصائي لكل شواذات، ولكل التشكيلات النادرة التي وصفها بولتزمن؟ وكما يسأل روجر كايو Roger Caillois: "هل يمكن لكارنو وداروين أن يكونا معاً على صواب؟".

إنه من الممتع ملاحظة كم هو متشابه في حقيقته المقترب الدارويني مع المسار الذي بحث فيه بولتزمن، ويمكن لهذا أن يكون أكثر من مجرد مصادفة. إننا نعرف أن بولتزمن كان يُكِّن إعجاباً كبيراً لداروين. تبدأ نظرية داروين بافتراض التأرجحات التلقائية للأنواع؛ ومن ثم يقود الاصطفاء إلى تطور بيولوجي لا عكوس. ولهذا فإنه كما عند بولتزمن، تقود العشوائية إلى اللاعكوسية. ومع ذلك فإن النتيجة مختلفة جداً. إن تأويل بولتزمن يتضمن تناسي الشروط الابتدائية، "تهدم" البنى الابتدائية، بينما يترافق التطور الدارويني مع التنظيم الذاتي والتعقيد المتزايد.

لكي نلخص نقاشنا حتى الآن، كان التوازن الترموديناميكي أول استجابة للفيزياء لمسألة تعقيد الطبيعة. هذه الاستجابة عُبِّر عنها بعبارات تبدد الطاقة وتناسي الشروط الابتدائية والتطور نحو الفوضى. كان الديناميك الكلاسيكي، علم المسارات الأزلية العكوسة، غريباً عن المشاكل التي واجهها القرن التاسع عشر الذي سيطرت عليه فكرة التطور. وكان ترموديناميك التوازن في موقع مناسب لكي يعارض بفكرته عن الزمن الفكرة الموجودة عنه في العلوم الأخرى: الزمن بالنسبة للترموديناميك يستدعي الانحطاط والموت. وكما رأينا فإن ديدرو تساءل: أين هو موقفنا نحن الكائنات المتعضية والتي لها أحاسيس في عالم ميت خاضع

للديناميك؟ وهناك سؤال آخر عذبنا لقرن من الزمان: ما المغذى لتطور كائن حي في عالم مُوَّصف بالترموديناميك، عالم فوضى متزايدة؟ ما العلاقة بين زمن الترموديناميك، زمن يتجه نحو التوازن، والزمن الذي يتجه فيه التطور نحو تعقيد متزايد؟

هل كان برغسون على صواب؟ هل الزمن هو الوسيط الفعلي للتجديد، أو أنه لا شيء على الإطلاق؟

الفصل الخامس

المراحل الثلاثة للترموديناميك

التدفق والقوة

لنعد[1] إلى توصيف القانون الثاني الذي قدمناه في الفصل السابق. يلعب تصور الأنطروبية دوراً مركزياً في توصيف التطور. كما رأينا فإن يمكن كتابة تغيراته عل شكل مجموع حدين – الحد d_eS متعلق بالمبادلات بين المنظومة وباقي العالم، وحد إنتاج d_iS ناتج عن ظواهر لاعكوسة داخل المنظومة. وهذا الحد هو دوماً موجب ما عدى في حالة التوازن الترموديناميكي حيث يصبح صفراً. في المنظومات المعزولة $d_eS=0$ تقابل حالة التوازن حالة الأنطروبية الأعظمية.

لكي نقدّر جيداً مغذى القانون الثاني بالنسبة للفيزياء، نحتاج إلى شرح أكثر تفصيلاً للظواهر المختلفة اللاعكوسة الداخلة في إنتاج الأنطروبية d_iS أو في إنتاج الأنطروبية بوحدة الزمن $P = {d_iS}/{dt}$.

بالنسبة لنا فإن التفاعلات الكيميائية ذات مغذى خاص، هي ومعها ناقليه الحرارة تكونان عينات للسيرورات اللاعكوسة. بالإضافة إلى أهميتها الذاتية تلعب السيرورات الكيميائية دوراً أساسياً في البيولوجية. تقوم الخلية

الحية بفعالية استقلابية لا تتوقف. فهناك تتم معاً آلاف من التفاعلات الكيميائية لكي يتم تحويل المادة التي تتغذى عليها الخلية، ولتركيب الجزيئات البيولوجية الأساسية وللتخلص من الفضلات الناتجة. أما بالنسبة لمعدلات التفاعلات المختلفة وأماكنها داخل الخلية فإن هذه الفعالية الكيميائية مترابطة بشكل منظم جداً. وهكذا فالبنية البيولوجية تجمع ما بين النظام والفعالية. بالمقابل فإن حالة التوازن تبقى ثابتة حتى ولو كانت مبنية كما مثلاً في بلورة. هل يمكن للسيرورات الكيميائية أن تقدم لنا المفتاح للاختلاف بين سلوك الخلية وسلوك البلورة؟

علينا أن ننظر إلى التفاعلات الكيميائية من منظورين حركي وترموديناميكي معاً.

من وجهة النظر الحركية الكمية الأساسية هي ***معدّل rate*** التفاعل. إن النظرية الكلاسيكية للتحريك الكيميائي مبنية على افتراض أن معدل التفاعل الكيميائي يتناسب مع تركيز المواد المتفاعلة المساهمة في التفاعل. وفي الواقع فإنه يحدث التفاعل من خلال الاصطدامات بين الجزيئات، ومن الطبيعي تماماً الافتراض أن عدد الاصطدامات يتناسب مع حاصل ضرب تركيز الجزيئات المتفاعلة. لكي نعطي مثالاً لنأخذ تفاعلاً بسيطاً مثل $A + X \rightarrow B + Y$ هذه "المعادلة التفاعلية" تعني أنه عندما يلاقي جزيء من A جزيئا من X هناك احتمال معين أن يحدث تفاعل وأن جزيئاً من B وجزيئاً من Y سيتشكلان. إن اصطداماً منتجاً لهذا التغير في الجزيئات هو "اصطدام تفاعلي". عادة ما تكون نسبة صغيرة جداً فقط (مثلاً ١/١٠E٦) من كل الاصطدامات من هذا النوع. في معظم الحالات تحتفظ الجزيئات بطبيعتها الأصلية وتتبادل الطاقة فقط.

يتعامل التحريك الكيميائي مع التغيرات في تركيز المواد المختلفة الداخلة في التفاعل، ويُوصَّف هذا التحريك بمعادلات تفاضلية كما تُوصَّف الحركة بمعادلات نيوتونية. إلا أننا في هذه الحالة لا نحسب تسارعات بل معدلات تغير في التركيز، وهذه المعدلات يعبر عنها بدالة تركيز المواد المتفاعلة. وهكذا فإن معدل التركيز في (X): (dX/dt) هو متناسب مع حاصل ضرب للتركيزات A وX في المحلول – أي $dX/dt=-kA.X$ حيث K هو عامل تناسب متعلق بكميات مثل درجة الحرارة والضغط، والذي يعطي مقياساً لنسبة التصادمات التفاعلية الحادثة والتي تقود إلى التفاعل $A+X \to B+Y$. وحيث أنه في المثال المأخوذ عندما يختفي جزيء من X فإن جزيئاً من A يختفي أيضاً ويتشكل جزيء من Y وكذلك من B ومعدل تغير التركيز هو $dX/dt = dA/dt = -dY/dt = -dB/dt$.

ولكن إذا كان اصطدام بين جزيء من (X) وجزيء من (A)يمكن أن يحدِثَ **التفاعل** الكيميائي فإن اصطدام جزيء من (B) مع جزيء من (Y) يُحدِثُ تفاعلاً معاكساً. وهكذا فإن تفاعلاً معاكساً ($B+Y \to A+X$) يحدث ضمن المنظومة المذكورة محدثاً تغييراً إضافياً في تركيز (X) هو ($dX/dt=K`YB$ )، والتغير الكلي في التركيز لمركب كيميائي يعطى بالتوازن بين التفاعلات الأمامية والعكسية في مثالنا ( $dX/dt=-dY/dt=......=-K AX+K`YB$).

إذا تركت لنفسها فإن منظومة تحدث فيها تفاعلات كيميائية تميل نحو حالة توازن كيميائي. لذلك فإن التوازن الكيميائي هو مثال نموذجي لحالة "جاذبة". مهما كان التركيب الكيميائي الابتدائي فإن المنظومة تصل تلقائياً إلى هذه الحالة النهائية،حيث يتعادل إحصائيا التفاعلان الأمامي والعكسي

فيما بينهما بحيث ينعدم الاختلاف بالتركيزات $dX/dt=٠$. هذا التعويض يستدعي أن النسبة بين تركيزات التوازن تعطى بـــ ($AX/YB=K`/K=K$). وتعرف هذه النتيجة بقانون "تأثير الكتلة" أو قانون غولدبرغ Guldberg وواغي Waage و K هو ثابت التوازن. النسبة بين التركيزات المعينة بقانون تأثير الكتلة تقابل التوازن الكيميائي بنفس الطريقة التي تتم بها تساوي درجة الحرارة (في حالة منظومة معزولة) المقابلة لتوازن حراري، وينعدم إنتاج الأنطروبية المتعلق بها.

قبل معالجة التوصيف الترموديناميكي للتفاعلات الكيميائية، لندرس باختصار مظهراً إضافياً للتوصيف الحركي. إن معدل التفاعلات الكيميائية لا يتأثر فقط بتركيز الجزيئات المتفاعلة والمعاملات parameters الترموديناميكية (مثلاً الضغط والحرارة) ولكن يتأثر أيضاً بوجود في المنظومة لبعض المواد الكيميائية التي تغير في معدل التفاعل دون أن تتغير هي ذاتها في العملية. تُعرّف المواد التي من هذا النوع "بالمحفزات"catalysts. يمكن للمحفزات مثلاً أن تغير قيمة الثوابت الحركية K أو $K``$ أو حتى أن تسمح للمنظومة بأن تتبع "مسار تفاعل" جديد. تلعب هذا الدور في البيولوجيا بر وتينات خاصة تدعى "الأنزيمات". لهذه الجزيئات الكبيرة تشكيل فراغي يسمح لها أن تغيِّر في معدل تفاعل معين ما. وغالباً ما تكون خصوصية جداً وتؤثر فقط في تفاعل وحيد. إن الآلية الممكنة للتأثير المحفز للأنزيمات هي في أنها تقدم "أماكن تفاعل" مختلفة والتي تميل إلى أن تلتصق بها الجزيئات المختلفة الداخلة في التفاعل، وبهذا تزيد في احتمال تلامسها وتفاعلها.

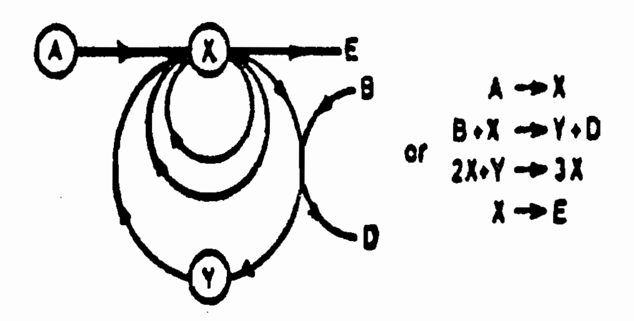
أحد أهم أ نوع المحفزات وخاصة في البيولوجيا، هو الذي يتطلب وجود المركب ذاته لكي يتم تركيبه هو بذاته. بكلمات أخرى لكي نحصل على جزيء من X يجب أن نبدأ بمنظومة تحوي X. كثيراً ما مثلاً **يُفعِّل** جزيء X أنزيماً، وبالتصاقه بالأنزيم فإنه يثبت هذا التشكيل الخاص الذي يكون فيه مكان التفاعل جاهزاً. هذه العملية من التحفيز الذاتي تقابل المخططات التفاعلية مثل $A+2X \rightarrow 3X$ ؛ بوجود جزيء X فإن جزيئاً A يتحول إلى جزيء X. ولهذا فإننا نحتاج لـــ X لإنتاج X أكثر. يمكن ترميز هذا التفاعل بالحلقة:



أحد أهم مظاهر المنظومات المتضمِّنة "لحلقات تحفيز كهذه، هي أن المعادلات الحركية التي توصِّف التغيرات الحاصلة فيها هي معادلات تفاضلية لا خطية.

إذا طبقنا الطريقة ذاتها كما في الأعلى فإن المعادلة الحركية للتفاعل $A+2X \rightarrow 3X$ هي $dX/dt = kAX^2$ حيث معدل التغير في تركيز X هو متناسب مع **مربع** تركيزها.

وهناك نوع مهم جداً من التفاعلات الحفزية في البيولوجية وهو التحفيز المتقاطع crosscatalysis – مثلاً $2X+Y \rightarrow 3X$ ، $B+X \rightarrow Y+D$ الذي يمكن تمثيله بحلقة الشكل ٣.



الشكل ٣

يمثل هذا الرسم مسارات التفاعل لتفاعلات "بروسيلاتور" Brusselator.

هذه حالة من التحفيز المتقاطع حيث يتم إنتاج X من Y وكذلك Y من X. لا يزيد التحفيز بالضرورة من معدل التفاعل؛ بل على العكس ربما يؤدي إلى التثبيط inhibition الذي يمكن أيضاً تمثيله بحلقات تغذية راجعة مناسبة.

إن الخصائص الرياضية المميزة للمعادلات التفاضلية اللاخطية التي تُوصِّف السيرورات الكيميائية مع خطوات تحفيزية هي مهمة حيويا، كما سنرى لاحقا، للسيرورات الكيميائية الترموديناميكية البعيدة عن التوازن. بالإضافة إلى ذلك، كما ذكرنا سابقاً فإن البيولوجية الجزيئية قد برهنت أن الحلقات تلعب دوراً أساسياً في وظائف الاستقلاب. مثلاً العلاقة بين الحموض النووية والبروتينات يمكن توصيفها بعبارات تأثير تحفيز متقاطع: تحوي الحموض النووية المعلومات اللازمة لإنتاج البروتينات التي بدورها تنتج حموضاً نووية.

بالإضافة إلى معدلات التفاعلات الكيميائية علينا أيضاً أن نبحث في معدلات سيرورات لا عكوسة أخرى مثل انتقال الحرارة وانتشار diffusion

المادة. تدعى معدلات السيرورات اللاعكوسة أيضاً ***تدفقات*** وتمثل بالرمز J. لا توجد نظرية عامة يمكننا منها استنتاج شكل المعدلات أو التدفقات. يعتمد المعدل في التفاعلات الكيميائية على الآلية الجزيئية كما نتبين من الأمثلة التي ذكرت سابقاً. تُدخِل ترموديناميكات السيرورات اللاعكوسة نوعاً ثانياً من الكمية: بالإضافة إلى المعدلات والتدفقات J فإنها تستعمل "قوى معممة" generalized forces X "تسبب" التدفقات. أبسط مثالٍ على هذا ناقلية الحرارة، حيث يخبرنا قانون فورييه أن التدفق الحراري J هو متناسب مع تدرج درجة الحرارة. هذا التدرج في درجة الحرارة هو "القوة" التي تسبب التدفق الحراري. وبالتعريف تنعدم القوى والتدفق معاً في حالة التوازن الحراري. وكما سنرى يمكن أن يحسب إنتاج الأنطروبية $p = d_iS / dt$ من التدفق والقوى.

لنبحث في تعريف القوة المعممة المقابلة لتفاعل كيميائي. لنستدعي التفاعل $A + X \to B + Y$. لقد رأينا كيف أنه عند التوازن فإن النسبة بين التركيزات معطاة بقانون تأثير الكتلة. وكما بين تيوفيل دي دوندر Theophile De Donder يمكن إدخال "قوة كيميائية"، ***"الميل:*** ***affinity*** A تعين اتجاه معدل التفاعل الكيميائي تماماً مثل ما يُعيِّن تدرج درجة الحرارة اتجاه سريان الحرارة. في حالة التفاعل الذي نعالجه الميل الكيميائي هو متناسب مع *logKBY/AX* حيث K هو ثابت التوازن. ومن الواضح أن الميل الكيميائي ينعدم عند التوازن، حيث حسب قانون تأثير الكتلة لدينا *AX/BY=K*. يزداد الميل (في القيمة المطلقة) عندما نبتعد بالمنظومة عن حالة التوازن. ونرى هذا إذا حذفنا من المنظومة قسماً من الجزيئات من B متى تم تشكيلها في التفاعل $A + X \to Y + B$. يمكن أن يقال أن الميل الكيميائي يقيس المسافة

بين الحالة الفعلية للمنظومة وبين حالتها المتوازنة.بالإضافة إلى ذلك كما ذكرنا فإن إشارتها تعين اتجاه التفاعل الكيميائي. إذا كانت A موجبة فهذا يعني أن هناك "فائض"من جزيئات B و Y والتفاعل الصافي يسير باتجاه $B+Y \rightarrow A+X$، وبالعكس إن كانت Aسالبة هناك "القليل" من B و Y والتفاعل الصافي هو في الاتجاه المعاكس.

الميل الكيميائي كما عرَّفناه هو طريقة لجعل الميل القديم كما عرف لدى السيميائيين، الذين كشفوا عن العلاقات الانتقائية بين الأجسام الكيميائية – أي "محبة" و"كراهية" الجزيئات، أكثر دقة. إن فكرة أنه لا يمكن إرجاع الفعالية الكيميائية إلى مسارات ميكانيكية، إلى عالم قوانين الديناميك الهادئ المسيطر قد تم التأكيد عليها من البداية. يمكننا ذكر ديدرو بالتفصيل. وبعد ذلك أكد نيتشه في سياق مختلف أنه من المضحك التكلم عن "قوانين كيميائية" كما لو أن الأجسام الكيميائية محكومة بقوانين شبيهة بالقوانين الأخلاقية. واعترض أنه في الكيمياء، لا يوجد ترابط وكل جسم يتصرف على هواه. إنه ليس موضوع "احترام" ولكن صراع قوى، إنه السيطرة الغير رحيمة للأقوى على الأضعف[٢]. وينتهي هذا الصراع بالتوازن الكيميائي وبانعدام الميل. من وجهة النظر هذه فإن خصوصية الميل الترموديناميكية تعيد تشكيل العبارات المعبِّرة عن المسألة القديمة في لغة معاصرة[٣]، مسألة التمييز بين عالم الشرعية واللامبالاة لقانون الديناميك وعالم التلقائية والفعالية المنتجة التي تنتمي إليه التفاعلات الكيميائية.

لنؤكد على التصور الأساسي للفرق بين الفيزياء والكيمياء. ففي الفيزياء الكلاسيكية يمكننا على الأقل تصور سيرورات عكوسة مثل حركة نواس دون احتكاك. إن إهمال السيرورات اللاعكوسة في الديناميك يقابل

دوما مثالية، ولكنها مثالية على الأقل لها معنى في بعض الحالات. أما الموقف في الكيمياء فإنه مختلفٌ تماماً. فهنا السيرورات التي تُعرِّف الكيمياء - التحولات الكيميائية المُوصَّفة بمعدلات تفاعل - هي لا عكوسة. ولهذا فإنه لا يمكن إرجاع الكيمياء إلى مثاليات هي في أساس الميكانيك الكلاسيكي وميكانيك الكم، والتي يلعب فيها الماضي والمستقبل أدواراً متعادلة.

كما هو متوقع تظهر كل السيرورات اللاعكوسة في إنتاج الأنطروبية. كل منها تدخل من خلال ضرب معدلها أو تدفقها J بالقوة المقابلة X ، والإنتاج الكلي للأنطروبية بوحدة الزمن $P = d_i S / dt$ هو حاصل جمع هذه المساهمات.

يمكننا تقسيم الترموديناميك إلى ثلاثة حقول كبيرة والتي تقابل دراستها المراحل الثلاثة المتتالية في تطوره. إنتاج الأنطروبية وتكون التدفقات والقوى جميعها صفراً ***في حالة التوازن***. وفي المنطقة ***القريبة من التوازن*** حيث القوى الترموديناميكية "ضعيفة" فإن المعدلات J_k هي دالات خطية للقوى. ويدعى الحقل الثالث ***المنطقة اللاخطية*** حيث المعدلات هي على العموم دالات لقوى أكثر تعقيدا. لنستعرض أولا بعض مظاهر الترموديناميك الخطي التي تنطبق على أوضاع قريبة من التوازن.

الترموديناميك الخطي

في سنة ١٩٣١ اكتشف لارس أونزاغر Lars Onsager أولى العلاقات العامة في ترموديناميك اللاتوازن للمجالات الخطية والقريبة من التوازن. وهي العلاقات الشهيرة "بالعلاقات التبادلية reciprocity relations". تقول هذه العلاقات بعبارات وصفية أنه إذا كانت هناك قوة لِنَقْلُ "واحد" (تتعلق مثلاً

بميل temperature gradient درجة الحرارة) يمكن أن تؤثر في تدفق "اثنين" (مثلاً سيرورة انتشار)، حينئذ القوة "اثنين" (تدرج التركيز) سوف تؤثر أيضاً في تدفق "واحد" (سريان الحرارة). وهذا ما تم التأكد منه. فمثلاً في كل حالة حيث يحرض تدرج حراري سيرورة انتشار مادة نجد أن تدرج تركيز يمكن أن ينشئ تدفق حرارة خلال المنظومة.

يجب التأكيد على الطبيعة ***العمومية*** لعلاقات أونزاغر. فمثلاً إنه لا يهم إذا كانت السيرورات اللاعكوسة تحدث في وسط غازي أو سائل أو جامد. إن علاقات التبادل هي صحيحة مستقلة عن أي فرضيات صغريه.

كانت العلاقات التبادلية النتائج الأولى لترموديناميك السيرورات اللاعكوسة التي تؤشر أن هذه ليست أرضاً محايدة سيئة التحديد، ولكن موضوعاً للدراسة له أهميته والذي يمكن مقارنة خصبه بذلك الذي لترموديناميك التوازن. لقد كان ترموديناميك التوازن إنجاز القرن التاسع عشر، أما ترموديناميك اللاتوازن فلقد طُوِّرَ في القرن العشرين وتعين علاقات أونزاغر نقطة حاسمة في انتقال الاهتمام من التوازن إلى اللاتوازن.

و يجب ذكر هنا نتيجة عامة ثانية في حقل الترموديناميك ***الخطي*** للاتوازن. لقد تكلمنا سابقاً عن كمونات ترموديناميكية تقابل نهاياتها extrema حالاتِ التوازن التي يتجه إليها التطور الترموديناميكي لاعكوسياً. أمثال ذلك الأنطروبية S في المنظومات المعزولة والطاقة الحرة F للمنظومات المغلقة في درجة حرارة معينة. وأيضاً يُدخِلُ ترموديناميك المنظومات القريبة من التوازن دالة كمونية كهذه. ومن المدهش أن هذا الكمون هو ***منتج الأنطروبية*** ذاته P. إن نظرية الإنتاج الأصغري للأنطروبية تقوم بالفعل بإظهار أنه في المجال

الذي فيه علاقات أونزاغر صحيحة – أي في المجال الخطي – تتطور المنظومة نحو حالة استقرار معينة بالإنتاج ***الأصغري*** للطاقة تتلاءم مع الضوابط المفروضة على المنظومة. هذه الضوابط معينة بواسطة الشروط الحدية. يمكنها مثلاً أن تقابل نقطتين في المنظومة تُحفَظان على درجات حرارة مختلفة أو إلى تدفق للمادة الذي يدعم تفاعلا ما ويتخلص من نواتجه.

الحالة المستقرة التي تتطور نحوها المنظومة هي بالضرورة إذن حالة لا توازن تحدث فيها سيرورات مبددة بمعدلات غير معدومة. ولكن حيث أنها حالة مستقرة فإن كل الكميات التي توصف المنظومة، مثل تركيزات درجات الحرارة تصبح مستقلة عن الزمن. وبالمثل فإن أنطروبية المنظومة تصبح الآن مستقلة عن الزمن،لهذا فإن تغيراتها تنعدم مع الزمن dS=٠. ولكننا رأينا سابقاً أن التغيرات الزمنية للأنطروبية هي من حدين – جريان الأنطروبية d_eS وإنتاج الأنطروبية الموجب d_iS. لهذا فإن dS=٠ تعني أن $d_eS = -d_iS < 0$. إن تدفق الحرارة أو المادة الآتي من المحيط الخارجي يعين جريانا سالباً للأنطروبية deS الذي هو أيضاً معادل لإنتاج الأنطروبية d_iS الناتج عن سيرورات لاعكوسة داخل المنظومة. إن تدفقا سالباً d_eS يعني أن المنظومة تنقل الأنطروبية إلى العالم الخارجي. ولهذا في الحالة المستقرة تزيد فعاليةُ المنظومة باستمرار في أنطروبية محيطها الخارجي. وهذا صحيح لكل الحالات المستقرة. ولكن نظرية الإنتاج الأصغري للأنطروبية تقول أكثر من ذلك. حالة الاستقرار الخاصة التي تتجه إليها المنظومة هي تلك التي فيها نقل الأنطروبية إلى المحيط هو أصغري بما يتناسب مع شرط الحد المفروضة.في هذا المضمار تقابل حالة التوازن الحالة

الخاصة التي تحدث عندما تسمح شروط الحد بإنتاج منعدم للأنطروبية. بكلمات أخرى تُعبِّر نظرية الإنتاج الأصغري للأنطروبية عن نوع من "العطالة". عندما تمنع شروط الحد المنظومة من الذهاب نحو التوازن فإنها تعمل الشيء الأفضل التالي؛ إنها تذهب إلى حالة إنتاج أنطروبية أصغريه – أي إلى حالة "أقرب ما يمكن" إلى التوازن.

وهكذا يُوصِّف الترموديناميك الخطي السلوك الثابت والقابل للتنبؤ للمنظومات المتجهة إلى مستوى أصغري للفعالية متناسباً مع التدفقات التي تغذيها. إن حقيقة أن الترموديناميك الخطي مثل ترموديناميك التوازن يمكن أن يوصف بعبارات الكمون وإنتاج الأنطروبية تعني أنه في التطور نحو توازن وفي التطور نحو حالة مستقرة فإنه يتم تناسي الشروط الابتدائية. مهما كانت الشروط الابتدائية فإن المنظومة أخيراً ستصل إلى الحالة المعينة بشروط الحد المفروضة. وكنتيجة لهذا فإن أي رد فعل لمنظومة كهذه لأي تغير قي شروط الحد هي قابلة للتنبؤ تماماً.

نرى أنه في المجال الخطي تبقى الأوضاع أساساً كما هي في التوازن. ومع أن إنتاج الأنطروبية لا ينعدم وأيضا لا يمنع التغير اللاعكوس من أن يتم التعرف إليه على أنه تطور نحو حالة قابلة للاستنتاج بالكامل من قوانين عامة. تقود هذه "الصيرورة" حتماً إلى تدمير أي اختلاف، أية خصوصية. كارنو أم دارون؟ وتبقى المفارقة المذكورة في الفصل الرابع. لا يزال ليس هناك من صلة بين ظهور أشكال طبيعية متعضية من جهة ومن جهة أخرى الميل نحو "نسيان" الشروط الابتدائية مع تكسر التنظيم الناتج.

بعيداً عن التوازن

يقبع في أساس الترموديناميك اللاخطي شيءٌ ما مدهش، شيء ما ظهر في الأول على أنه فاشل: فبالرغم من الجهود الكبيرة فإن تعميم نظرية إنتاج الأنطروبية الأصغري للمنظومات التي لم تعد فيها التدفقات دوال خطية للقوى ظهر وكأنه مستحيل. يمكن للمنظومات بعيداً عن التوازن أن تتطور إلى حالة استقرار ولكن على العموم لم يعد بالإمكان التعبير عن هذه الحالة بحدود كمون يُختَار بشكل مناسب (مثل إنتاج انطروبية للحالات القريبة من التوازن).

إن غياب أية دالة كمون يثير سؤالاً جديداً: ماذا يمكن أن نقول عن استقرار الحالات التي تتطور إليها المنظومة؟ في الواقع طالما أن حالة الجاذب مُعرَّفة بالكمون الأصغري مثل إنتاج الأنطروبية فإن استقرارها مضمون. إنه من الصحيح أن تأرجحاً يمكن أن يبعد المنظومة عن هذه الحالة الأصغرية، إلا أن القانون الثاني للترموديناميك يفرض الرجوع إلى الجاذب. وهكذا فالمنظومة "محصنة" بالنسبة للتأرجحات. وهكذا فإننا حين نُعرِّفُ كموناً فإننا نُوصِّف *"عالماً مستقراً"* تتبع فيه المنظومات تطوراً يقودها إلى وضع سكوني الذي يتشكل مرة وإلى الأبد.

عندما تصبح القوى الترموديناميكية المؤثرة في منظومة بحيث يتم تجاوز المجال الخطي، فإنه لا يمكن اعتبار استقرار الحالة المستقرة، أو استقلالها عن التأرجحات شيئاً مسلماً به. لم يعد الاستقرار نتيجة قوانين الفيزياء العامة. وعلينا أن نتفحص الطريقة التي تتفاعل بها الحالة المستقرة مع الأنواع المختلفة للتأرجحات الناتجة عن المنظومة أو عن محيطها. يقود التحليل في بعض الحالات إلى النتيجة أن الحالة هي "غير مستقرة"– في حالة

كهذه، يمكن لبعض التأرجحات بدلاً من أن تتخامد أن تتضخم وتغزو المنظومة بكاملها مجبرة إياها لأن تتطور نحو نظام يمكن أن يختلف نوعياً عن حالات الاستقرار المقابلة لإنتاج أصغري للأنطروبية.

يقود الترموديناميك إلى نتيجة ابتدائية عامة تتعلق بالمنظومات القابلة للتهرب من نوع نظام التحكم في التوازن. يجب أن تكون هذه المنظومات "بعيدة عن التوازن". في الحالات التي يكون فيها اللااستقرار ممكناً يجب علينا أن نحدد العتبة، البعد عن التوازن الذي يمكن عنده للتأرجحات أن تقود إلى سلوك جديد مختلف عن السلوك "المعتاد" المستقر وهو الصفة المميزة للمنظومات المتوازنة أو القريبة من التوازن.

لماذا هذه النتيجة مهمة لهذه الدرجة؟

إن ظواهر من هذا النوع معروفة كثيراً في حقول الهيدروديناميك وفي جريان السوائل. مثلاً لقد كان معروفاً منذ زمن طويل أنه متى تم الوصول إلى معدل تدفق معين لجريان ما فإنه يحدث اضطراب turbulence في السائل. ولقد ذكر ميشيل سيريه Michel Serres مؤخراً [٤] أن الذريين الأوليين كانوا مهتمين جداً بالجريان المضطرب، لدرجة أنه من المشروع القول أن الاضطراب هو المنبع الأساسي لفيزياء لوكريتشيوس. لقد كتب لوكريتشيوس أنه في بعض الأوقات والأمكنة فإن السقوط الأزلي العام للذرات يصبح مضطرباً بحيود بسيط - "الكلينامن". وينتج عن الدوامة الناتجة العالم وكل الأشياء الطبيعية. ولقد أُنتقِد كثيرا هذا الحيود التلقائي (الكلينامن) وغير القابل للتنبؤ على أنه نقطة الضعف الأساسية في فيزياء لوكريتشيوس وعلى أنه شيء أُدخِل هكذا لصقاً ad hoc في الواقع العكس هو الصحيح - يحاول الكلينامن تفسير حوادث مثل الجريان الصفحي laminar flow متوقفاً عن أن يكون مستقراً ومتحولاً تلقائياً إلى جريان مضطرب. واليوم يجرب أخصائيو الهيدروديناميك استقرار جريان سائل بإدخال

اضطراب الذي يعبر عن تأثير الفوضى الجزيئية المضافة إلى وسطي الجريان.
إننا لسنا ببعيدين عن كليناس لوكيرتشيوس!

لزمن طويل كان يُطابَق الاضطراب مع الفوضى أو الضجة، ونعلم اليوم أن الحالة ليست كذلك. في الواقع مع أن الحركة المضطربة تبدو وكأنها غير نظامية أو شواشية على المقياس الجهري، فإنها تبدو على المستوى الصغري منتظمة بشكل كبير. تقابل المقاييس المتعددة زمنياً ومكانياً المرافقة للاضطراب، السلوك المتسق لملايين وملايين الجزيئات. من هذا المنظور فإن الانتقال من جريان صفحي إلى جريان مضطرب هو عملية تنظيم ذاتي. إن جزءاً من طاقة المنظومة التي كانت في الجريان الصفحي في الحركة الحرارية للذرات تنتقل إلى حركة منتظمة جهرية.

إن "لا إستقرار بينار" Benard instability هو مثالٌ آخر مدهش لعدم استقرار حالة استقرار منتجة لظاهرة تنظيم ذاتي. ينتج اللاإستقرار عن تدرج gradient درجة الحرارة الشاقولي في طبقة أفقية من السائل. يسخن السطح السفلي للطبقة إلى درجة حرارة معينة أعلى من تلك التي للسطح العلوي، ونتيجة لهذه الشروط الحدية يحدث تدفق حراري دائم من الأسفل إلى الأعلى. وعندما يصل التدرج المفروض إلى عتبة فإن حالة السائل الساكنة - الحالة المستقرة التي يتم فيها التبادل الحراري بالناقلية فقط بدون حمل- تصبح غير مستقرة. وينتج حمل مقابل للحركة المتسقة لمجموعات من الجزيئات مزيدة في معدل نقل الحرارة. ولهذا فلقيمة معينة للضوابط constraints (تدرج درجة الحرارة) يتزايد إنتاج المنظومة للأنطروبية ؛وهذا يتعارض مع نظرية الإنتاج الأصغري للأنطروبية. إن ظاهرة بينار هي ظاهرة مشهديه spectacular. في الواقع إن حركة الحمل الناتجة تتكون من تنظيم ذات فراغيي معقد للمنظومة. تتحرك الملايين من الجزيئات باتساق مشكلة خلايا حمل سداسية ذات حجم خاص.

قدمنا في الفصل الرابع مبدأ بولتزمن في النظام الذي يربط الأنطروبية بالاحتمالات كما يعبر عنها بعدد العقديات P complexions. هل يمكننا تطبيق هذه العلاقة هنا؟ يقابل كل توزيع لسرعات الجزيئات عدداً من العقديات. وهذا العدد يقيس عدد الطرق التي يمكننا فيه تحقيق توزع للسرعات بإعطاء سرعة ما لكل جزيء. ويجري النقاش بالتوازي مع ما ذكرناه في الفصل الرابع عندما عَّبرنا عن عدد العقديات بحدود توزع الجزيئات بين صندوقين. وهنا أيضاً يكون عدد العقديات كبيراً عندما يكون هناك فوضى - أي تشتت واسع في السرعات. وبالعكس الحركة المتسقة تعني أن الكثير من الجزيئات تسير تقريبا بنفس السرعة (تشتت صغير في السرعات). يقابل هكذا توزع عدد صغير من العقديات P صغيراً لدرجة أنه يبدو أنه ليس هناك من فرصة لظاهرة التنظيم الذاتي أن تحدث. ومع ذلك فهي تحدث! لهذا نرى أن حساب عدد العقديات، الذي يستدعي فرضية تساوي الاحتمالات القبلية لكل حالة جزيئيه هو مضلل. وعدم مناسبته واضح تماماً فيما يتعلق بنشوء السلوك الجديد الذي ذكرناه. في حالة لا استقرار بينار هو تأرجح fluctuation وتيار حمل صغري والذي مقدر له التراجع حسب مبدأ النظام لبولتزمن، ولكنه على العكس يتضخم ليغزو المنظومة كلها. وهكذا فيما بعد القيمة الحرجة للتدرج المفروض يتم إنتاج تلقائي لنظام جديد للجزيئات. وهو يقابل تأرجحاً كبيراً مثبتاً بواسطة تبادلات طاقية مع العالم الخارجي.

في الشروط البعيدة عن التوازن يصبح باطلاً تصور الاحتمالات المتضمنة في مبدأ بولتزمن للنظام، حيث أن البنى التي نلاحظها لا تقابل العقديات الأعظمية. وكذلك لا تتعلق بطاقة حرة أصغرية $F=E-TS$. ولم يعد الميل نحو التعويض وتناسي الشروط الابتدائية خاصة عامة. وتبدو من هذا المنظور المسألة القديمة، مسألة أصل الحياة في منظور مختلف. من المؤكد صحة أن الحياة لا تتوافق مع مبدأ بولتزمن في النظام ولكن ليس مع نوع السلوك الذي يمكن أن يحدث في الشروط البعيدة عن التوازن.

يقود الترموديناميك الكلاسيكي إلى تصور "البنى المتوازنة" مثل البلورات. وخلايا بنار هي بنى أيضاً، ولكنها من طبيعة مختلفة. وهذا هو السبب الذي جعلنا نُدخِل فكرة "البنى المبددة" لكي نؤكد على التشارك القوي، وهذا ما يبدو مفارقة، في حالات كهذه بين البنى والنظام من جهة والتبدد أو التبذير في الجهة الأخرى. لقد رأينا في الفصل الرابع أن انتقال الحرارة كان يعتبر منبع تبذير في الترموديناميك الكلاسيكي. بينما يصبح في خلية بينار منبع نظام.

وبهذا يمكن أن يصبح التفاعل بين منظومة ما والعالم الخارجي، وتوضعها في ظروف اللاتوازن نقطة البداية لتشكل حالات ديناميكية جديدة للمادة – بنى مبددة. وتقابل البنى المبددة في الواقع شكل تنظيم ما فوق جزيئي. ومع أن المعاملات parameters التي تُوِّصف البنى البلورية يمكن استنتاجها من خواص الجزيئات التي تُكوِّنها وخاصة من مجال قواها الجاذبة والمتنافرة. إن خلايا بينار ككل البنى المبددة هي أساساً انعكاس للوضع الشامل للاتوازن المنتج لها. المعامل التي تُوِّصفها هي جهرية ؛إنها ليست على مستوى مقياس ١٠E–٨cm مثل المسافة التي بين الجزيئات في بلورة ولكنها بمقياس سنتيمترات. وشبيه بهذا فإن مقاييس الزمن هي أيضاً مختلفة – وهي لا تقابل أزمنة الجزيء (مثل أدوار اهتزاز الجزيئات الفردية التي يمكن أن تقابل زمناً هو من مستوى ١٠E–١٥ sec) بل أزمنة جهرية: ثواني، دقائق، ساعات.

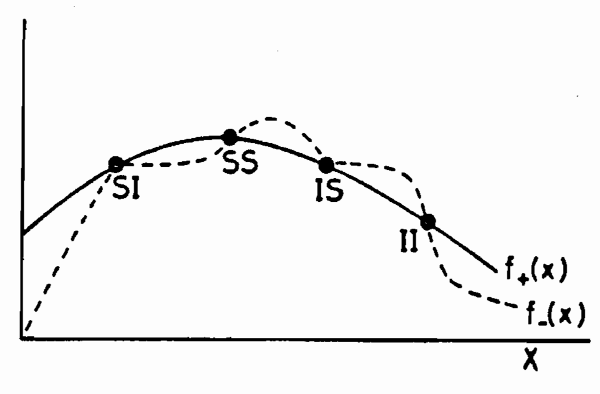
لنعد إلى حالة التفاعلات الكيميائية. هناك بعض الاختلافات الأساسية عن مسألة بينار. وعدم الثبات في خلية بينار له مصدر ميكانيكي بسيط. عندما نسخن من الأسفل طبقة من سائل ما فإن الجزء الأسفل من السائل يصبح أقل كثافة ويرتفع مركز الثقل، ولهذا فليس من المفاجئ أنه بدءاً من نقطة حرجة تنحرف المنظومة وينشأ حمل.

ولكن في المنظومات الكيميائية ليس لدينا مظاهر من هذا النوع. فهل يمكن أن نتوقع أي تنظيم ذاتي؟ إن تصورنا الذهني للتفاعلات الكيميائية هو أنها تقابل جزيئات متسارعة في الفراغ، متصادمة عشوائياً بطريقة شواشية. لا يدع تصور كهذا مكانا لأي تنظيم ذاتي، ويمكن أن يكون هذا أحد الأسباب التي جعلت حالات اللاإستقرار الكيميائي لم تصبح موضوع اهتمام إلا مؤخراً. وهناك أيضا اختلاف آخر. ***كل*** الجريانات تصبح اضطرابية في مسافات كبيرة "كفايةً" عن التوازن (وتقاس العتبة بعدد لا أبعاد له مثل عدد رينولدز Reynold. وهذا ليس صحيحاً من أجل التفاعلات الكيميائية. إن البعد عن التوازن هو متطلب ضروري ولكنه ليس بكاف. فبالنسبة لمنظومات كيميائية عديدة، مهما كانت الضوابط المفروضة، ومعدل التغير الكيميائي الناتج، ***تبقى حالة الاستقرار ثابتة،*** وتتخامد التأرجحات العشوائية كما في حالة مجال القرب من التوازن. وهذا صحيح خصوصاً في المنظومات التي لدينا فيها سلسلة من التحولات من نوع ($A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \ \ldots$) وهذا يمكن أن يُوصَّف بمعادلات تفاضلية ***خطية***.

وهكذا فإن قدر التأرجحات التي تشوش منظومة كيميائية، كما وأنواع الأوضاع الجديدة التي يمكن أن تتطور إليها، تعتمد على الآلية المفضلة للتفاعلات الكيميائية. وبالضد من أوضاع القرب من التوازن فإن سلوك المنظومة البعيدة عن التوازن يصبح خاصاً جداً. وليس هناك من قانون عام صحيح يمكن منه استنتاج السلوك الشامل للمنظومة. كل منظومة هي حالة خاصة؛ ويجب البحث في كل مجموعة تفاعلات كيميائية والتي يمكن أن تنتج سلوكاً كيفياً مختلفاً.

مع ذلك تم الحصول على نتيجة واحدة عامة وهي شرط ضروري للاثبات الكيميائي: في سلسلة من التفاعلات الكيميائية حادثة في المنظومة، فإن ***مراحل التفاعل فقط*** التي يمكن تحت بعض الشروط والظروف أن تُعرِّضَ للخطر ثبات الحالة المستقرة هي بالضبط "حلقات التحفيز"– وهي المراحل التي يكون

فيها ناتج التفاعل الكيميائي ذاته متضمن في تركيبه. هذه نتيجة مهمة حيث أنها تُقرِّبنا من بعض أهم إنجازات البيولوجيا الجزيئية الحديثة (أنظر الشكل ٤).



(الشكل ٤)

تقابل حلقات التحفيز حدوداً terms لاخطية؛ يعني هذا، في حالة مسألة ذات متحول وحيد، حدوث حد على الأقل حيث يظهر المتحول المستقل مرفوعا إلى قوة أعلى من ١؛ في هذه العلاقة لبسيطة، من السهل رؤية العلاقة بين حدود لا خطية كهذه وكمون اللاثبات للحالات المستقرة.

لنعتبر (X) هذا المتحول المستقل زمن التطور $dX/dt=f(X)$ يمكن دوماً تحليل $f(X)$ إلى دالتين تمثلان ربحاً وخسارة $f_-(X)$ ، $f_+(X)$ كل منها إما موجبة أو صفراً بحيث $f(X)=f_+(X)-f_-(X)$ بهذه الطريقة حالات الاستقرار $(dX/dt=٠)$ تقابل قيماً حيث $f_+(X)=f_-(X)$.

هذه الحالات ممثلة تخطيطاً بتقاطع الخطين الراسمين لـــ$f_+(X)$ و$f_-(X)$ إذا كان $f_+(X)$ $f_-(X)$ خطيين فلا يمكن أن يوجد إلا نقطة تقاطع وحيدة. في الحالات الأخرى يسمح لنا نوع التقاطع أن نستنتج ثبات الحالة المستقرة.

أربع حالات هي ممكنة:

(SI):ثابتة بالنسبة للتأرجحات السالبة، قلقة بالنسبة للموجبة: إذا انحرفت المنظومة قليلاً إلى يسار SI فإن الفرق الموجب بين (f_+) و(f_-) سيرجع هذا الانحراف إلى ما كان في SI والانحرافات إلى اليمين ستتضخم.

(SS): ثابتة بالنسبة للتأرجحات الموجبة والسالبة.

(IS): ثابتة فقط للتأرجحات الموجبة.

(II): غير ثابتة قلقة بالنسبة للتأرجحات الموجبة والسالبة.

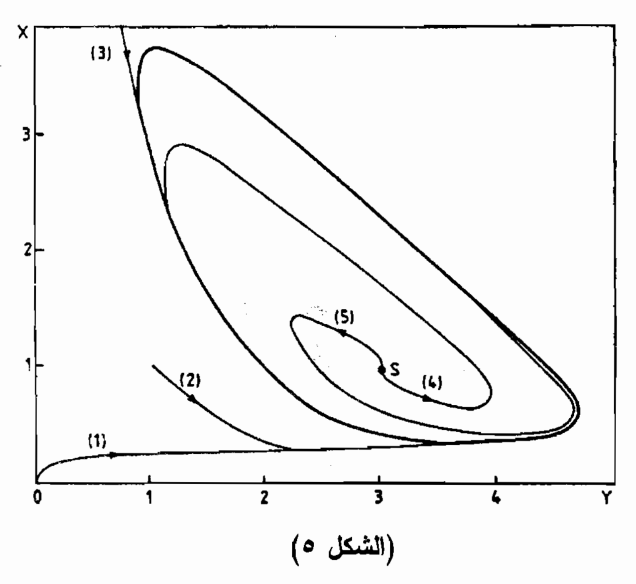
ما وراء عتبة اللااستقرار الكيميائي

شائعة هي اليوم دراسات اللااستقرار الكيميائي. يُتابَعُ العمل النظري والتجريبي في عدد كبير من المعاهد والمختبرات. في الحقيقة وكما سيصبح واضحاً فإن هذه الأبحاث هي مهمة لطيف واسع من العلماء – ليس فقط لعلماء الرياضيات والفيزياء والكيمياء والبيولوجيا ولكن أيضاً للاقتصاديين وعلماء الاجتماع.

تظهر في الحالات البعيدة عن التوازن ظواهر جديدة متنوعة وراء عتبة اللاثبات الكيميائي. ولتوصيفها بشكل متماسك فإنه من المفيد البدء بنموذج نظري مبسط، نموذج طُوِّر في بر وكسل خلال العقد الماضي. ولقد دعا العلماء الأميركيون هذا النموذج "بروسيلاتور" من اسم بروكسل وأصبح هذا الاسم مستعملاً في الأدبيات العلمية (حيث أصبحت التعلقات الجغرافية القاعدة في هذا الحقل؛ فبالإضافة إلى البروسيلاتور هناك "الأوريغونيتر" بالنسبة لولاية أوريغون و"البالوالتونيتر" حديثا!). لنوصِّف البروسيلاتور باختصار.لقد تم التوصيف سابقاً للخطوات المسببة للاثبات (أنظر الشكل ٣). المادة المركبة X من A والمحللة إلى الشكل E هي مرتبطة بعلاقة تحفيز متقاطع لتنتج المادة Y، و X ناتجة من Y من خلال خطوة ثلاثية الجزيئات ولكن على العكس Y تتركب بنتيجة تفاعل بين X و B.

في هذا النموذج فإن تركيز نواتج التفاعل والمتفاعلين (A, B, D, E) هي معاملات parameters معطاة "المواد المتحكمة". يدرس سلوك المنظومة لقيم متزايدة من B مع إبقاء A ثابتة. الحالة المستقرة التي يمكن لمنظومة كهذه أن

تتطور إليها – الحالة التي فيها $-dX/dt=dY/dt=0$ تقابل تركيزات $X_0 = A$ و$Y_0 = B/A$. يمكن التحقق من هذا بسهولة بكتابة المعادلات الحركية والبحث عن حالة الاستقرار. إلا أن هذه الحالة المستقرة تتوقف عن الثبات عندما يزداد تركيز B بحيث يتجاوز عتبة حرجة (كل شيء آخر يبقى متساوياً). عندما يتم الوصول إلى العتبة الحرجة تصبح حالة الاستقرار "بؤرة" عدم لا ثبات وتترك المنظومة هذه البؤرة للوصول إلى "دورة حدية" limit cycle.



(الشكل ٥)

يمثل هذا المخطط تركيز X مقابل تركيز Y.بالنسبة لـ (نقطة تبؤر الدورة (النقطة S) هي حالة الاستقرار والتي هي لا ثابتة لأجل $B > (1 + A^2)$. وكل المسارات (المرسوم منها فقط خمسة) تعود إلى نفس الدورة مهما كانت حالتها الابتدائية.

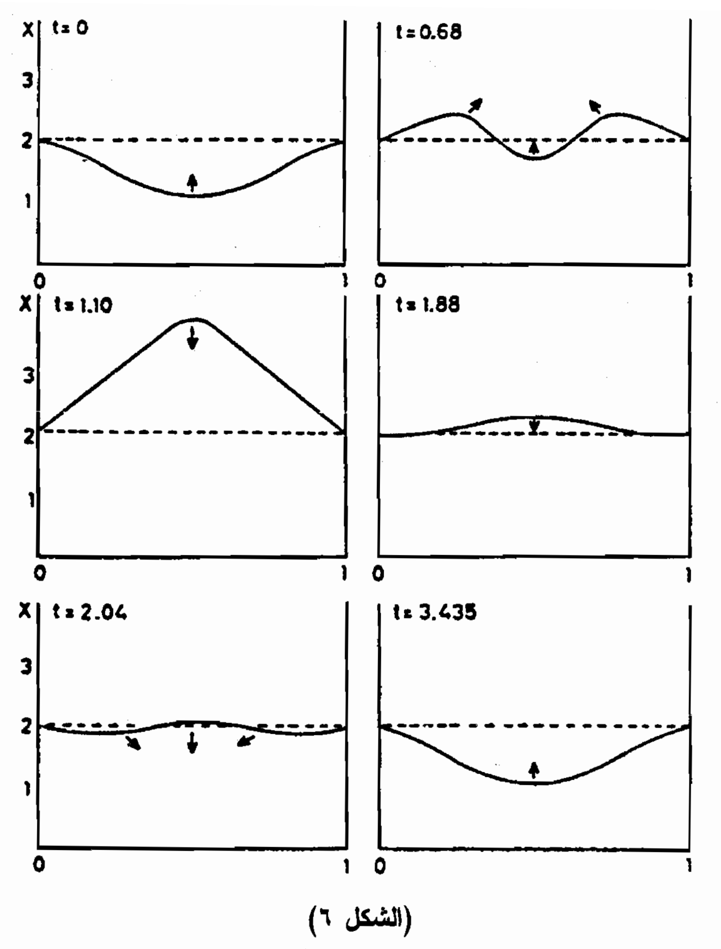
وبدلاً من أن تبقى مستقرة فإن تركيزات X و Y تبدأ بالتأرجح حسب دور معرِّفٍ جيداً. إن دور التأرجح يعتمد على الثوابت الحركية الموصفة لمعدلات التفاعل وعلى الشروط الحدية المفروضة على المنظومة ككل (درجة الحرارة، وتركيزات A و B، الخ..).

بعد العتبة الحرجة فإن المنظومة تترك تلقائيا حالة الاستقرار $X_0 = A, Y_0 = B / A$ كنتيجة للتأرجحات. ومهما كانت الشروط الابتدائية فإن المنظومة تصل إلى دورة حدية سلوكها الدوري ثابت. لــذا فإنه لدينا سيرورة كيميائية دوريــة - ساعة كيميائية. لنتوقف قليلاً لكــي نؤكد كــم هــي مفاجئة نتيجة كهذه. ليكن لدينا جزيئات "حمراء" وجزيئات "زرقاء". إننا نتوقع بســبب الحركة الشواشية للجزيئات أنه فــي أية لحظة سيكون لدينا مثلاً جزيئات حمر أكثر فــي القسم اليساري من الإناء. ثم بعد قليل ســتبدو جزيئــات زرق أكثــر وهكــذا. ســيبدو لنا الإناء "بنفسجيا" مــع ومضات غير منتظمة للأحمر والأزرق. إلا أن هذا ما **لا** يحدث في الساعة الكيميائية؛ المنظومة هنا كلها زرقاء ثم كلها حمراء ثم كلها زرقاء مرة أخرى. لأن كل هذه التغيرات تحدث على فترات زمنية ***منتظمة*** فإنه لدينا سيرورة متسقة.

تبدو هــذه الدرجة من النظام الناتجة عــن فعالية ملايين الجزيئات لا تصدق. وفــي الحقيقة لولا مشاهدة هــذه الساعات الكيميائية، فإنه لــن يصدق أحــد أن ســيرورة كهذه يمكن أن تحدث. لكــي يتم تغيير اللــون كليا فجأة يجب أن يكــون للجزيئات طريقة "تواصل". علــى المنظومة أن تعمل ككل. ســنعود إلــى هــذه الكلمة المفتاحية تواصل أو اتصال، التــي هــي ظاهرة الأهمية فــي حقــول كثيرة مــن الكيمياء وحتــى الفيزيولوجية العصبية. ربما تقــدم البنى المبددة أحد الآليات الفيزيائية البسيطة للاتصال.

هناك اختلاف مهم بين النواس الميكانيكي من أبسط الأنواع، مثل النابض spring والساعة الكيميائية. إن الساعة الكيميائية لها دور محدد تماماً مقابل للدورة الحدية التي يتبعها مسارها. بينما على العكس فالنابض له تردد يعتمد على المطال. ومن وجهة النظر هذه فإن الساعة الكيميائية هي أدق في تعيين الزمن من النابض.

ولكـــن الســـاعة الكيميائيـــة ليســـت النـــوع الوحيد للتنظيم الذاتـــي. حتـــى الآن أهملنا الانتشـــار diffusion لقـــد افتـــرضنا أن كـــل المـــواد موزعة بشكل متساوٍ علـــى مكان التفاعل. وهذه حالـــة مثالية؛ فـــإن تأرجحـــات صغيرة ستقود حتماً إلـــى اختلافات فـــي التركيز وهكذا إلى انتشـــار. لهذا يجب أن نضيف الانتشـــار إلى معادلات التفاعل الكيميائية. إن معادلات تفاعلات الانتشـــار فـــي البروسيلاتور تظهر مجالات سلوك... مدهشة وجاهزة لهذه المنظومـــة. وفـــي الحقيقة بينما فـــي التوازن وقـــرب التوازن تبقى المنظومة متجانســـة فراغياً فإن انتشـــار المادة الكيميائية خـــلال المنظومة يحـــرض فـــي المنطقة البعيدة عـــن التوازن إمكانية أنـــواع جديدة من اللاثبات محتوية على تضخيم للتأرجحات كاسرة للتناظر الفراغي الابتدائي. وهكـــذا تتوقف التذبذبات فـــي الزمن والساعات الكيميائية عن أن تكون النوع الوحيد من البنى المبددة الممكنة للمنظومة. أكثـــر مـــن ذلك؛ مثـــلاً يمكـــن أن تظهر الآن تذبذبات معتمدة علـــى الزمـــان والمكـــان. إنـــها تقابـــل موجـــات كيميائية لتركيـــزات (X وY) تمـــر دوريـــاً خـــلال المنظومـــة.



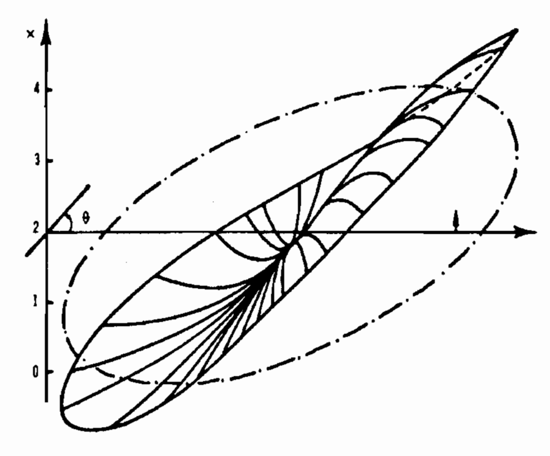
(الشكل ٦)

الأمواج الكيميائية وقد تمت محاكاتها حاسوبياً: الخطوات المتتالية لتطور منظر فراغي لتركيز المادة المكونة (X) في "بروسيلاتور" نموذج ثلاثي الجزيئات. في الزمن t=٣,٤٣٥ نحصل على نفس التوزيع الذي كان عندما (t=٠). تركيز(A وB) هو ٢ و٥,٤٥ ($B > (1 + A^2)$ معاملاً تدرج X و Y هما: $8.10^{-3}, 4.10^{-3}$

بالإضافة إلى ذلك فإن المنظومة يمكن وخاصة عندما تكون قيم ثوابت انتشار (X و Y) مختلفة تماماً عن بعضها أن تُظهِرَ سلوكاً مستقراً مستقلاً عن الزمن، ويمكن أن تَظْهَر بنى ثابتة فراغياً.

وهنا يجب أن نتوقف مرة ثانية، هذه المرة لكي نؤكد كم يناقض التشكيل التلقائي للبنى الفراغية قوانين التوازن الفيزيائية ومبدأ بولتزمن للنظام. مرة أخرى سيكون عدد العقديات المقابل لهكذا بنى صغيراً جدا بالمقارنة مع مثيله في التوزيع المنتظم. ومع ذلك يمكن أن تقود السيرورات اللامتوازنة إلى أوضاع قد تبدو مستحيلة من وجهة النظر الكلاسيكية.

إن عدد البنى المبددة المختلفة المتوافقة مع مجموعة معطاة من الشروط الحدية يمكن أن يُزاد أكثر عندما تدرس المسألة في بعدين أو أبعاد ثلاثة بدلاً من بعد واحد.في فراغ دائري ذي بعدين مثلاً يمكن أن تُوَّصف الحالة المستقرة المركبة فراغيا بحدوث محور مفضل.



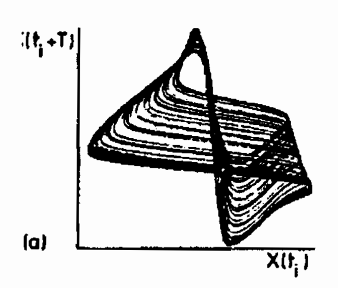
(الشكل ٧)

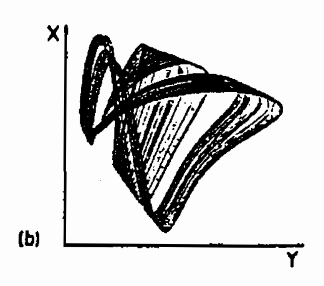
تمثيل حالة مستقرة مع محور مفضل تم الحصول عليه بالمحاكاة الحاسوبية. تركيز X هو دالة للإحداثيات الهندسية $(\rho\theta)$ في المستوى الأفقي. موقع الاضطراب المطبق على الحل المنتظم اللاثابت مؤشر عليه بسهم.

ويقابل هذا سيروزة جديدة هامة جداً كاسرةً للتناظر، وخاصة عندما نتذكر أن الخطوة الأولى في أول مراحل تشكل الجنين هو تشكيل تدرج في المنظومة.سنعود إلى هذه النقطة لاحقاً في هذا الفصل ومرة أخرى في الفصل السادس.

حتى الآن كان مفترضا أن "مواد التحكم"(A،B،D،E) هي موزعة بشكل منتظم خلال منظومة التفاعل. إذا تخلينا عن هذا التبسيط فإنه يمكن أن تحدث ظاهرة إضافية. مثلا ستأخذ المنظومة "حجماً طبيعياً" هو دالة للمعاملات التي توصفها. وهكذا فإن المنظومة تعين بذاتها حجمها الأصلي - أي أنها تعين المنطقة التي هي مبنية فراغياً أو تمر منها موجات تركيزات دورية.

مع ذلك فإن هذه النتائج لا تعطي إلا صورة غير كاملة عن تنوع الظواهر التي يمكن أن تحدث بعيداً عن التوازن. فلأجل شروط حدية معطاة يمكن أن تظهر أكثر من حالة مستقرة – مثلا واحدة غنية بالمادة الكيميائية *X* والأخرى فقيرة. إن التنقل من حالة إلى أخرى يلعب دوراً هاماً في آليات التحكم كما تم وصفها في المنظومات البيولوجية.





(الشكل ٨)

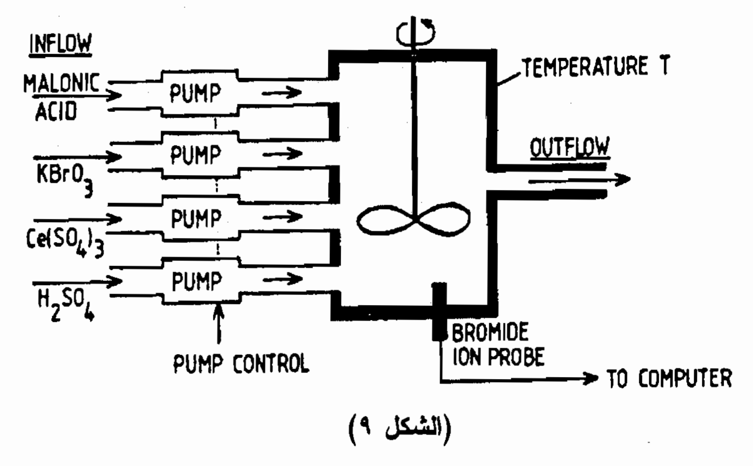
(ا) تركيز شاردة بروميد في تفاعل بيلوسوف–جابتونسكي في الأزمنة $(t_i + T)$ و(t_i)

(ب) خطوط جاذب حُسبت من قبل هاو باي لن (Hao Bai-lin) لأجل بوسيلاتور مع تغذية خارجية دورية للمكون (X) (إشعار شخصي).

كانت، منذ الأعمال الكلاسيكية لليابونوف Lyapounov وبوانكارييه النقاط الخاصة مثل نقاط التبؤر أو خطوط مثل دورات الحد limit cycles معروفة للرياضيين على أنها "جواذب" لمنظومات ثابتة. ولكن ما هو جديد هو تطبيقها على المنظومات الكيميائية. ومن المهم ملاحظة أن أول ورقة عمل تبحث في اللاثبات في منظومات تفاعلات الانتشار نشرت من قبل تورينغ Turing سنة ١٩٥٢. ولقد تم التعرف على أنواع أخرى من الجواذب. وهي تظهر فقط عندما يزداد عدد المتحولات المستقلة (هناك متحولان اثنان في البروسيلاتور وهما المتحولان X وY). ويمكن بصورة خاصة أن نحصل على "جواذب غريبة" لا تقابل أي سلوك دوري.

يعطي الشكل (٨ – ب) الذي يلخص بعض حسابات هاو باي لن Hao Bai-lin فكرة عن خطوط جاذب معقد كهذا حُسِبَتْ لنموذج يعمم البروسيلاتور من خلال إضافة تغذية خارجية دورية لـــ(X). ما هو مدهش هو أن معظم الإمكانيات التي وصفناها قد لوحظت في الكيمياء اللاعضوية كما في الكثير من الحالات البيولوجية.

المثال المعروف جيدا في الكيمياء اللاعضوية هو تفاعل بيلوسوف-جابوتنسكي المكتشف في اوائل الستينات. كذلك فإن مخطط التفاعل المقابل، الأوريغونيتور Oregonator المقدم من نوي Noyes وزملائه هو في جوهره مشابه للبروسيلاتور إلا أنه أكثر تعقيداً. إن تفاعل بيلوسوف-جابوتنسكي يتضمن تأكسد حمض عضوي (الأسيد المالي) malic acid بواسطة برومات البوتاسيوم بوجود محفز مناسب سيريوم ومنغانيز أو فيروين.



(الشكل ٩)

مخطط تمثيلي لمفاعل كيميائي استعمل لدراسة تذبذبات تفاعل بيلوسوف-جابوتنسكي (هناك جهاز تحريك في المفاعل لكي تبقى المنظومة متجانسة). التفاعل له أكثر من ثلاثين ناتجاً ومواد وسيطة. إن تطور مسارات التفاعلات المختلفة يعتمد (من بين عوامل أخرى) على المدخلات التي يتم التحكم بها بواسطة مضخات التحكم.

يمكن وضع شروط تجريبية مختلفة والتي تعطي تشكيلات مختلفة من التنظيمات الذاتية داخل المنظومة ذاتها - ساعةً كيميائية أو تشكيلاً متنوعاً ثابتا فراغياً أو تشكيل أمواج من الفعالية الكيميائية على مسافات جهرية(٥). والآن لنتوجه إلى موضوع ذي أهمية كبيرة: مناسبة هذه النتائج لفهم المنظومات الحية.

المواجهة مع البيولوجية الجزيئية

لقد بينا سابقاً في هذا الفصل أنه في الحالات البعيدة عن التوازن يمكن أن تحدث أنواع عدة من سيرورات تنظيم - ذاتي. وهي يمكن أن تقود إلى ظهور تذبذبات كيميائية أو إلى بنى فراغية. ولقد رأينا أن الشرط الأساسي لظهور ظواهر كهذه هو وجود تأثيرات التحفيز.

ومع أن تأثيرات التفاعلات "اللاخطية" (وجود ناتج التفاعل) لها فعل تغذية راجعة على "سببها" وأنها نسبيا نادرة في العالم اللاعضوي، بينما اكتشفت البيولوجية الجزيئية أنها تقريباً هي القاعدة فيما يتعلق بالمنظومات الحية. التحفيز الذاتي(وجود X يسرع في إنتاجه) الكبح الذاتي (وجود X يغلق على المحفز اللازم لتركيبه) والتحفيز المتقاطع (مادتان تنتميان إلى تفاعلين مختلفين يُفعِّلُ كل منهما تركيب الآخر) تقدم هذه آلية التنظيم الكلاسيكية ضامنة اتساق وظيفة الاستقلاب.

لنؤكد على اختلاف مهم. فـــي الأمثلة المعروفة فـــي الكيمياء اللاعضوية، الجزيئات المتعلقة بسيطة ولكن آليات التفاعل معقدة - في تفاعل بيلوسوف - جابوتنسكي أمكن التعرف على حوالي ثلاثين مركباً. وعلى العكس في الكثير من الأمثلة البيولوجية التي لدينا فإن مخطط التفاعل هو بسيط ولكن الجزيئات (بروتين،أسيد نووي، الخ...) هي معقدة جدا وخاصة. ومن الصعب أن يكون هذا صدفة. إننا نقابل هنا عنصراً ابتدائياً يؤشر للفرق بين الفيزياء والبيولوجية. للمنظومات البيولوجية *ماض*. وجزيئاتها المكونة هي ناتج تطور؛ لقد تم إصطفاؤها لكي تســاهم في آليات التحفيز الذاتي لكي تولد أشــكالا خاصة من سيرورات التنظيم.

إن توصيفنا لشبكة التفعيلات والكبح الاستقلابية هي خطوة أساسية في فهم المنطق الوظيفي للمنظومات البيولوجية. ويشمل هذا إطلاق عمليات التركيب في اللحظة اللازمة وكبح هذه التفاعلات الكيميائية التي يمكن لهذه المركبات الغير مستعملة أن تتجمع في الخلية.

إن الآلية الأساسية التي تشرح من خلالها البيولوجية الجزيئية نقل واستعمال المعلومات هي نفسها حلقة تغذيه راجعة وآلية "لا خطية". إن الحمض النووي *DNA* الذي يحوي بشكل تسلسلي كل المعلومات اللازمة لتركيب البر وتينات الأساسية اللازمة لبناء وتشغيل الخلية، يساهم في سلسلة من التفاعلات التي يتم من خلالها ***ترجمة*** هذه المعلومات إلى شكل سلاسل أخرى من البر وتينات. ومن بين البر وتينات المركبة تقوم بعض الأنزيمات بفعل تغذية راجعة التي تحرض أو تتحكم ليس فقط في مراحل التحولات المختلفة ولكن أيضاً في آلية التحفيز الذاتي لنسخ الـــ DNA،الذي بواسطته يتم نسخ المعلومات الوراثية بنفس معدل تكاثر الخلية.

لدينا هنا مثالا لتكاتف علمين. فالفهم الذي توصلنا إليه هنا تطلب تطورات متكاملة في الفيزياء والبيولوجيا الواحدة نحو الأعقد والأخرى نحو الابتدائي.

وفي الواقع فمن وجهة نظر الفيزياء إننا نبحث الآن في أوضاع "معقدة" بعيدة جدا عن الأوضاع المثالية التي يمكن وصفها بعبارات ترموديناميك التوازن. ومن وجهة أخرى فلقد نجحت البيولوجية الجزيئية في إقامة الصلة بين البنى الحية وبين عدد صغير نسبيا من الجزيئات البيولوجية الأساسية. وفي بحثها في تنوع الآليات الكيميائية اكتشفت خفايا سلاسل التفاعلات الاستقلابية والمنطق المعقد والماهر في التحكم وفي الكبح وفي التفعيل الذي تقوم به الوظائف التحفيزية المعقدة للأنزيمات المتعلقة بكل خطوة من سلاسل الاستقلاب. وبهذه الطريقة تقدم البيولوجية الجزيئية الأساس الصغري للا ثباتات التي يمكن أن تحدث في الحالات البعيدة عن التوازن.

بمعنى ما تبدو المنظومات وكأنها معمل منظم تنظيماً جيداً : فمن جهة هي مكان تحولات كيميائية متعددة؛ ومن جهة أخرى فإنها تقدم تنظيماً "زمكانياً" بتوزيع غير منتظم لمواد بيوكيميائية. يمكننا الآن أن نربط ما بين الوظيفة والبنية. لننظر باختصار في مثالين دُرِسا بشكل واسع في السنوات القليلة الماضية.

سننظر أولاً في تحلل الغلوكوز glycolysis، وهو سلسلة من التفاعلات الاستقلابية التي من خلالها يتم تفكيك الغلوكوز وتركيب مادة غنية بالطاقة الـــ ATP (أدينوزين ثلاثي الفوسفات) والتي هي منبع أساسي للطاقة شائع في كل الخلايا الحية. لكل جزيء من الغلوكوز يتحلل فإن جزيئين من ADP أدينوزين ثنائي الفوسفات) يتحولان إلى جزيئين من ATP: يقدم تحليل الغلوكوز مثالا جيدا لتكامل المقترب التحليلي للبيولوجية مع البحث في ثبات الحالات البعيدة عن التوازن[٦].

لقد اكتشفت التجارب البيوكيميائية وجود اهتزازات زمنية في التركيزات المتعلقة بدورة تحليل الغلوكوز[٧]. ولقد تم تبيان أن هذه الاهتزازات هي محددة بخطوة مفتاحية في تسلسل التفاعل المُفعّلة بواسطة ADP والمكبوحة من قبل ATP. وهذه ظاهرة لا خطية نموذجية ملائمة جيدا للتحكم بالوظائف الاستقلابية. وفي الواقع فإنه في كل مرة تسحب الخلية طاقة من مخزونها الطاقي، فإنها تستعمل روابط bonds الفوسفات ويتحول ATP إلى ADP. وهكذا فإن تجميعا للـــ ADP داخل النواة يعني استهلاك طاقة كبير والحاجة لتعويض المخزون، بينما تجميع ATP يعني من جهة أخرى أنه يمكن تحليل الغلوكوز بمعدل أبطأ.

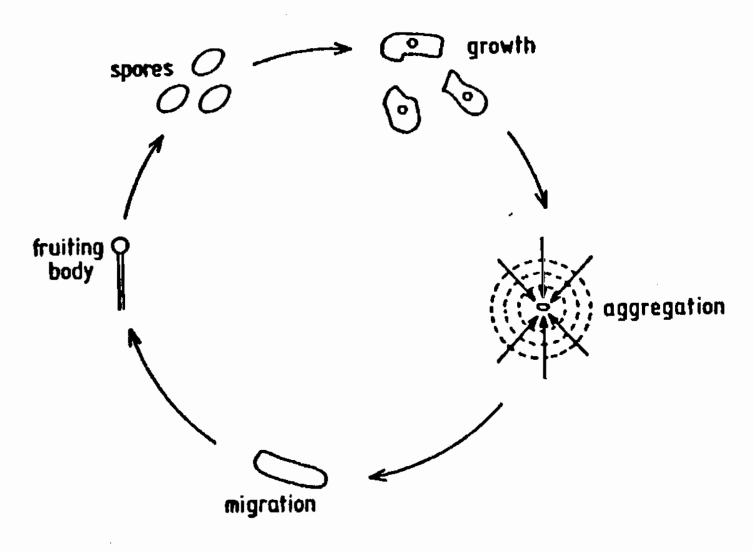
لقد أظهر البحث النظري لهذه العملية أن هذه الآلية قابلة لإنتاج ظاهرة اهتزازية وساعة كيميائية. يتطابق الحساب النظري لقيم التركيز الكيميائي اللازم لانتاج اهتزاز ودور هذا الاهتزاز مع معطيات التجربة. يُحدِثُ الاهتزاز الغلوكوزي_تعديلاً modulation في كل السيرورات الطاقية الجارية في الخلية والتي تعتمد على تركيز ATP ولهذا فهي تعتمد لامباشرة على العديد من سلاسل الاستقلاب الأخرى.

يمكننا أن نذهب أبعد من ذلك ونبين أنه في المسار الغلوكوليتي فإن التفاعلات التي يتم التحكم بها بواسطة أنزيمات مفتاحية هي في الحالات البعيدة عن التوازن. تم الإبلاغ عن هذا النوع من الحسابات بواسطة بينو هس Benno Hess (٨) ، وتم تعميمها منذئذ على منظومات أخرى. في الشروط العادية فإن دورة الغلوكوليتيك تقابل ساعة كيميائية، ولكن تغير هذه الشروط يمكن أن يحرض على تشكيل أنماط فراغية، ويتفق هذا تماما مع توقعات النماذج النظرية الموجودة.

تبدو المنظومة الحية معقدة جدا من المنظور الترموديناميكي. فبعض التفاعلات هي قريبة من التوازن والبعض الآخر ليس كذلك. وليس كل شيء في منظومة حية هو "حي". إن جريان الطاقة الذي يخترقها يشبه بشكل ما جريان نهر يسيل عموما بشكل سلس ولكنه من وقت لآخر يسقط في شلال الذي يحرر جزءا من الطاقة التي يحملها.

لننظر في سيرورة بيولوجية أخرى والتي درست أيضا من وجهة نظر الاستقرار: تجمع الفطر المخاطي Acrasiales amoeba Dictuostelium discoideum. هذه السيرورة (٩A) هي حالة مهمة تقع على الحد الفاصل بين بيولوجية وحيدات الخلية وكثيراتها.

يقدم تجمع الفطر المخاطي مثالاً مدهشاً عن ظاهرة التنظيم الذاتي في المنظومة البيولوجية التي تلعب فيها الساعة الكيميائية دوراً رئيسياً (أنظر الشكل A)



(الشكل A)

عندما تخرج الأميبية من الأبواغ تنمو وتتكاثر كعضويات وحيدة الخلية. ويستمر هذا الوضع حتى يصبح الغذاء المقدم من البكتريا نادرا. ثم تتوقف الأميبية عن التكاثر وتدخل في حالة بينية تدوم حوالي ثمانية ساعات. وفي نهاية هذه الفترة تبدأ الأميبية بأن تتجمع حول الخلايا التي تتصرف كمراكز تجمع. ويحدث تجمع كرد فعل على الإشارات الكيميوتكتيكية المرسلة من المراكز. يهاجر التجمع المشكل حتى تصبح الشروط لتشكيل جسم مخصب كافية. ثم تتخصص كتلة الخلايا لتشكل جذعا مغلفة بكتلة من الأبواغ.

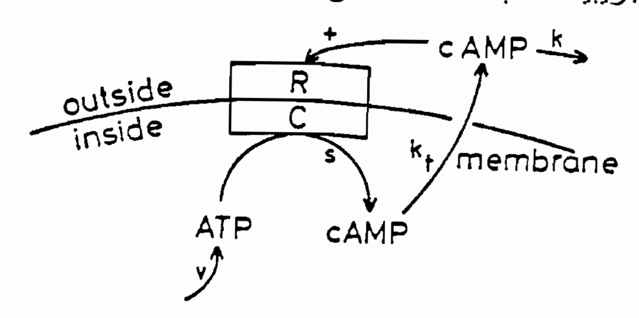
في الفطر المخاطي تتقدم المجموعة بطريقة دورية. تظهر أفلام عن عملية التجمع وجود موجات دائرية ذات مركز واحد من الأميبية تتحرك نحو المركز بتردد حوالي عدة دقائق. إن طبيعة العامل الكميوتكتيكي معروفة: إنها دورة AMP، cAMP وهي مادة تدخل في عدة سيرورات بيوكيميائية مثل الضبط

الهورموني. تطلق مراكز التجمع إشارات cAMP بطريقة دورية. وتستجيب الخلايا الأخرى بالتحرك نحو مراكز التجمع وبترحيل الإشارات إلى حواف منطقة التجمع. إن وجود آلية ترحيل mechanism of relay للإشارات الكميوتكتيكية تسمح لكل مركز تحكم بتجمع تقريبي لـــ 10^5من الأميبية.

إن تحليل نموذج لسيرورة تجمع تظهر وجود نوعين من التفرعات، فأولا يمثل التجمع ذاته كسرا في التناظر الفراغي والتفرع الآخر يكسر التناظر الزمني.

في الأصل تتوزع الأميبية بانتظام. وعندما تبدأ بعض منها بإفراز الإشارات الكميوتكتيكية تظهر تقلبات محلية في تركيز cAMP. ولأجل قيمة حرجة لمعامل parameter ما للمنظومة (عامل انتشار cAMP، وحركة الأميبية الخ..) فإن التأرجحات تتضخم: ويصبح التوزيع المتجانس غير مستقر وتتطور الأميبية نحو توزع غير متجانس في الفراغ. يقابل هذا التوزيع تجمع الأميبية حول مراكز تجمع.

لفهم أصل الدورية في التجمع D من الضروري دراسة آلية تركيب الإشارة الكميوتكتيكية. ويمكننا وصف هذه الآلية اعتمادا على أساس ملاحظات تجريبية حسب مخطط الشكل B.

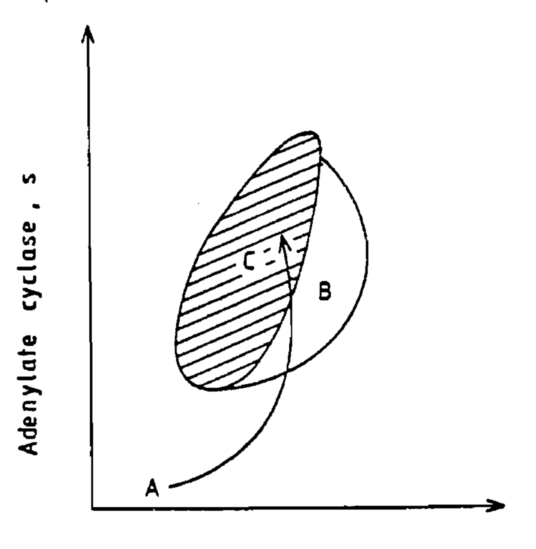


(الشكلB)

على سطح الخلية تربط المستقبلات R جزيئات cAMP. يواجه المستقبل الوسط خارج الخلية وهو وظيفيا مرتبط بأنزيم أدينلات سيكلاز C الذي يحول ATP داخل الخلية إلى cAMP و cAMP المركب بهذه الطريقة يتم نقله من خلال غشاء الخلية إلى الوسط الخارجي الذي يتم إرجاعه بواسطة فوسفو ديستراز phosphodieserase وهو أنزيم تفرزه الخلية. تبين التجارب أن ارتباط cAMP الخارجي بمستقبل الغشاء يفعل الأدينلات سيكلاز (وهو تغذية راجعة موجبة تمثل بـــ +).

على أساس هذا الانتظام في التحفيز الذاتي فإن تحليل نموذج لتركيب cAMP قد سمح بتوحيد عدة نماذج من السلوك الملاحظ من خلال التجمع (٩B).

وهناك معاملان parameters مفتاحيان لهذا النموذج هما تركيز أدينلات السيكلاز (S) وفوسفو ديستراز K. الشكل C (نقل الرسم من A. GoldBeter and L.Segel , *Differentiation* , vol ١٧ (١٩٨٠) PP.١٢٧-٣٥).



(الشكل C)

يمكن تمييز ثلاثة مناطق لأجل قيم مختلفة لـ (K وS). تقابل المنطقة A حالة مستقرة ثابتة وغير قابلة للتحريض؛ وتقابل المنطقة B حالة مستقرة ثابتة ولكنها قابلة للتحريض: المنظومة قادرة على تضخيم تغييرات صغيرة في تركيز cAMP بطريقة نبضية (وبهذا فهي قادرة على ترحيل إشارات cAMP المنطقة C وتقابل نظاماً من التذبذبات المغذاة حول حالة مستقرة قلقة).

ويشير السهم إلى "مسار تطور" ممكن يقابل ارتفاعاً في فوسفوديستراز K وأدينيلات سيكلاز S وهو ارتفاع يشاهد في أول بدء الجوع. إن تقاطع المناطق A وB وC يقابل تغير السلوك الملاحظ: فالخلايا في الأول غير قادرة على الاستجابة للإشارات cAMP الخارجية؛ بعد ذلك فهي ترحل تلك الإشارات وأخيرا تصبح قادرة على تركيبها دوريا بطريقة ذاتية. وهكذا تكون مراكز التجمع هي الخلايا حيث معاملاتها S و K وقد وصلت بأسرع ما يمكن نقطة موجودة في C بعد أن كان الجوع قد بدأ.

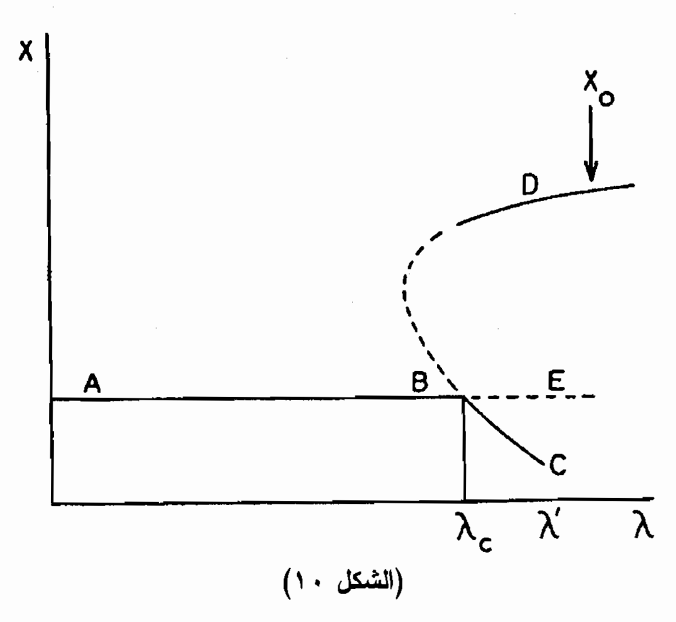
عندما تصبح البيئة التي تعيش فيها هذه الأميبية وتتكاثر فقيرة في الغذاء، فإن الأميبية تصبح محل تحول مدهش (أنظر الشكل A). بادئة كمجموعة خلايا مفردة، فإنها تتجمع لتشكل كتلة مكونة من عدة عشرات الألوف من الخلايا. هذه الـــ "بسيدوبلاسموديوم" pseudoplasmodium يتم تمايزها بينما تغير شكلها. تتشكل"قدم" محتوية على حوالي ثلث الخلايا وحاوية على الكثير من السيلولوز. وتدعم هذه القدم كتلة كروية من الأبواغ التي ستنفصل وتنتشر وتتكاثر حالما تصبح بالتماس مع وسط مغذ مناسب وبهذا تشكل مستعمرة جديدة من الأميبية. وهذا مثال صارخ للتلاؤم مع الوسط الخارجي. ستعيش العشيرة في منطقة حتى تستهلك المصادر الجاهزة. ومن ثم تمر بمراحل تحول تجعلها قادرة على الانتقال لغزو محيط آخر.

إن دراسة للمرحلة الأولى لعملية التجمع تكشف أنها تبدأ بحدوث موجات حركة في مجموعة الأميبية ومع حركة نبضية لتجمع الأميبية نحو "مركز جذب" والذي يبدو أنه ينتج تلقائيا. بينت البحوث التجريبية والنمذجة أن هذه الهجرة هي استجابة من الخلايا لوجود في المحيط لتدرج تركيز لمادة مفتاحيه هي cAMP والتي تنتجها دوريا أميبية في مركز الجاذب وبعد ذلك من الخلايا الأخرى بواسطة آلية ترحيل. وهنا نرى ثانية الدور المدهش للساعات الكيميائية. إنها تقدم كما أكدنا عليه سابقا وسائل جديدة في الاتصال. في الحالة التي أمامنا فإن آلية التنظيم الذاتي تقود إلى تواصل بين الخلايا.

هناك مظهر آخر نريد أن نؤكد عليه. إن تجمع الفطر المخاطي هو مثال نموذجي لما يمكن أن يدعى "النظام من خلال التأرجحات": البدء بمركز جاذب مصدراً للـــ cAMP يشير إلـــى أن النظام الاستقلابي المقابل لوســـط غذائي نظامي قد أصبح قلقا - أي أن الوسط المغذي قد أُستنزِف. وحقيقة أنه فـــي حالة كهذه من نقص التغذية فإن أية أميبية يمكن أن تصدر cAMP وبهذا تصبح مركز جذب وهـــذه حالة تقابل الســـلوك العشـــوائي للتأرجحات. ومن ثم يتضخم هذا التأرجح وينظم الوسط المحيط.

التفرعات وخرق التناظر

لنلق نظرة أكثر تدقيقاً على بروز التنظيم الذاتي والسيرورات التي تحدث عندما نتجاوز هذه العتبة. في حالات التوازن أو القريبة من التوازن هناك حالة وحيدة مستقرة steady state والتي تعتمد على قيم بعض المعاملات control parameters الحاكمة. سندعو معامل التحكم هذا بـــ λ الذي يمكن مثلا أن يكون تركيز المادة B في البروسيلاتور المذكور في الفقرة ٤. سنتابع الآن تغيير حالة المنظومة عندما تتزايد قيم B. بهذه الطريقة فإن المنظومة تُدفَع أكثر فأكثر بعيدا عن التوازن. وفي نقطة ما ستصل إلى عتبة ثبات "للفرع الترموديناميكي" ثم نصل إلى ما سمي عموماً "بنقطة تفرع" bifurcation point (هذه هي النقاط التي أكد على دورها ماكسويل في أفكاره حول العلاقة بين الحتمية والاختيار الحر. [أنظر الفصل الثاني الفقرة ٣]).

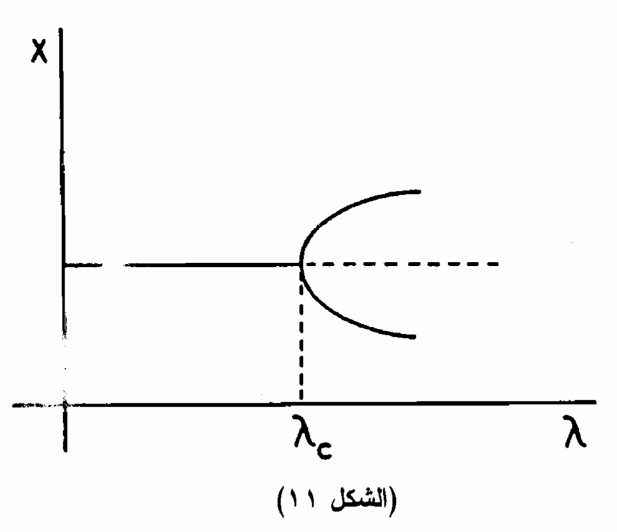


(الشكل ١٠)

مخطط تفرع: يرسم المخطط قيم الحالة المستقرة لـــ X كدالة معامل التفرع λ الخطوط المستمرة هي حالات مستقرة ثابتة؛ الخطوط المنقطة هي حالات مستقرة غير ثابتة. الطريقة الوحيدة للوصول إلى الفرع D هي في البدء بتركيز معين X_0 أعلى من قيمة X المقابلة للفرع E.

لندرس بعض مخططات التفريع النمطية. في نقطة التفرع B يصبح الفرع الترموديناميكي غير ثابت بالنسبة للتأرجحات. ولأجل قيمة λ_C لمعامل التحكم فإنه يمكن للمنظومة أن تكون في ثلاثة حالات منتظمة مختلفة: C وE و D. اثنتان منها ثابتة وواحدة غير ثابتة. ومن الضروري التأكيد على أن سلوك منظومات كهذه يعتمد على تاريخها. لنفترض أننا نزيد ببطيء في قيمة معامل التحكم λ فإنه من المحتمل جدا أن نتابع المسار (A،B،C) في الشكل ١٠. وبالعكس إذا بدأنا بقيمة كبيرة لتركيز X وأبقينا قيمة معامل التحكم ثابتة فإنه من المحتمل أن نصل إلى النقطة D.

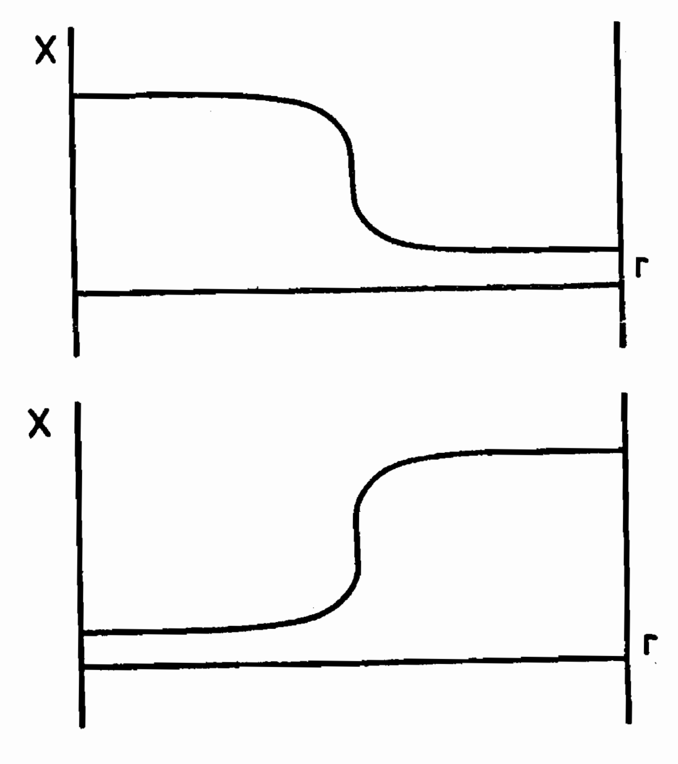
وتعتمد الحالة التي نصل إليها على التاريخ السابق للمنظومة. حتى الآن استعمل التاريخ بشكل عام في تأويل الظواهر البيولوجية والاجتماعية ولكن أن يلعب دورا مهما في السيرورات الكيميائية البسيطة فذلك شيء غير متوقع.



(الشكل ١١)

مخطط تفرع متناظر رسمت X كدالة على λ، ولأجل $\lambda < \lambda_C$ هناك حالة واحدة مستقرة والتي هي ثابتة أيضا. ولأجل $\lambda > \lambda_C$ هناك حالتا استقرار ثابتتين لكل قيمة لـ λ (الحالة التي كانت سابقا ثابتة تصبح غير ثابتة).

لننظر في مخطط التفرع الشكل ١١. يختلف هذا المخطط عن سابقه في أنه عند نقطة التفرع يظهر ***حلان*** جديدان ثابتان. وكذلك سؤال جديد: أين ستذهب المنظومة عندما تصل إلى نقطة التفرع؟ لدينا هنا "خيار" بين إمكانيتين؛ ويمكن أن يمثلا أي واحد من التوزيعين الغير منتظمين للمادة الكَيمَيائية X في الفراغ. يتمثل ذلك في الشكل ١٢ و١٣.



(الشكل ١٢ و١٣)

توزيعان فراغيان ممكنان للمركبة الكيميائية X (يقابلان لكل واحد من الفرعين في الشكل ١١. يقابل الشكل ١٢ البنية "اليسرى" عندما يكون لـ X تركيز أكبر في الجزء اليساري وبالمثل الشكل ١٣ يقابل البنية اليمنى.

إن البنيتين هما خيال في مرآة الواحدة منهما للأخرى. في الشكل ١٢ تركيز X هو أكبر على اليسار في الشكل ١٣ هو أكبر على اليمين. كيف ستختار المنظومة بين اليسار واليمين؟ هناك عنصر عشوائي لا يمكن إرجاعه؛ ولا يمكن للمعادلة الجهرية التنبؤ بمسار المنظومة. ولن يفيد الرجوع إلى التوصيف الصغرى. كذلك لا يوجد تمييز بين اليمين واليسار. ونحن نواجه حوادث مصادفة شبيهة جدا برمي النرد.

إننا نتوقع أنه إذا أعدنا التجربة عدة مرات وقدنا المنظومة إلى ما وراء نقطة التفرع فإن نصف المنظومة سيذهب إلى التشكيل اليساري والنصف الآخر إلى اليميني. وهنا يبرز سؤال آخر هام: في العالم المحيط بنا بعض التناظرات البسيطة الأساسية تبدو وقد كسرت(١٠). الكل قد لاحظ أن الصدَفَ عادة ما تكون له خطوط مفضَّلة. ولقد ذهب باستور بعيدا حين رأى في اللاتناظر في خرق التناظر الصفة الأساسية للحياة. ونحن نعرف اليوم أن الـــ DNA الحمض النووي الأكثر أساسية يأخذ شكل لولب يميني. كيف حدث هذا اللاتناظر؟ جواب شائع أنه يأتي من حادث وحيد الذي بالمصادفة رجَّح أحد ناتجين ممكنين؛ ثم حدثت سيرورة ذات تحفيز ذاتي والبنية اليمينية تُنتِج بنى يمينية أخرى. ويتخيل آخرون أنه كان هناك "حرب" بين البنى اليمينية واليسارية وبنتيجة ذلك أبادت إحداهما الأخريات. هذه مسائل لم نجد بعد لها جواباً شافياً. وليس كافياً التكلم عن حدث وحيد ؛ إننا بحاجة إلى جواب أكثر "منهجية".

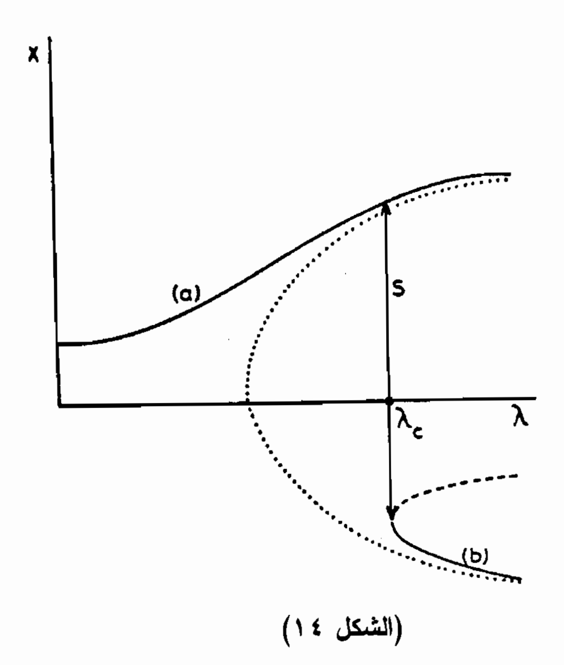
لقد اكتشفنا مؤخراً مثالاً صارخاً على الخواص الأساسية الجديدة التي تحصل عليها المادة في الحالات البعيدة عن التوازن: الحقول الخارجية مثل حقل الثقالة يمكن أن "تدركها" المنظومة وبهذا تخلق إمكانية اختيار نمط.

كيف يمكن لحقل خارجي - مثل حقل الثقالة - أن يُغيِّر في وضع توازن؟ قدم الجواب مبدأ بولتزمن للنظام: الكمية الأساسية المُتضمَّنة هي نسبه الطاقة الكامنة إلى الطاقة الحرارية. هذه كمية ضئيلة بالنسبة إلى حقل الثقالة الأرضية؛ يجب علينا أن نتسلق جبلا لكي نحصل على تغير

ملحوظ في الضغط أوفي تركيب الجو. ولكن لنتذكر خلية بينار؛ من منظور ميكانيكي فإن عدم ثباتها هو في رفع مركز ثقلها نتيجة التمدد الحراري. بكلمات أخرى تلعب الثقالة دوراً أساسياً هنا وتقود إلى بنية جديدة بالرغم من حقيقة أنه يمكن أن يكون لخلية بينار سماكة عدة ميليمترات. وإن تأثير الثقالة على طبقة رقيقة كهذه يمكن أن يكون مهملا بالقرب من التوازن ولكن بسبب عدم التوازن الناتج عن اختلاف درجة الحرارة والآثار الجهرية للثقالة فإنه يصبح ملحوظاً حتى في هذه الطبقة الرقيقة. يضخم اللاتوازن تأثير الثقالة.[١١]

بوضوح ستغير الثقالة جريان الانتشار في معادلة تفاعل انتشار. تبين الحسابات المفصلة أن هذا يمكن أن يكون دراماتيكيا قرب نقطة تفرع لمنظومة غير مضطربة. وبالخصوص يمكن أن نستنتج أن حقول ثقالة صغيرة يمكن أن تؤدي إلى اختيار نمط.

لندرس ثانية منظومة مع مخطط تفرع مثل الممثل في الشكل ١١، لنفترض أنه لا توجد ثقالة ٠= g لدينا كما هو بين في الشكل ١٢ و١٣ نمط "فوق/تحت" لا متناظر وكذلك خياله في المرآة "تحت/فوق". كلاهما له نفس الاحتمال، ولكن عندما نأخذ g بالاعتبار تتحول معادلات التفرع لأن جريان الانتشار يحوي على حد يتناسب مع g. وكنتيجة لذلك نحصل الآن على مخطط التفريع الممثل في الشكل ١٤. لقد اختفى التفريع الأصلي – وهذا صحيح مهما كانت قيمة الحقل. تظهر الآن إحدى البنى a ***باستمرار*** عندما معامل التفريع يتزايد بينما البنية الأخرى b لا يمكن الوصول إليها إلا من خلال اضطراب منته.



(الشكل ١٤)

ظاهرة تفريع مساعَد بوجود حقل خارجي. X مرسومة كدالة للمعامل λ التفريع المتناظر الذي يمكن أن يحدث بغياب الحقل هو ممثل بالخط المتقطع. قيمة التفريع هي λ_C ؛ والفرع الثابت b هو على مسافة منتهية من الفرع a.

لهذا إذا اتبعنا المسار a فإننا نتوقع للمنظومة أن تتبع المسرى المستمر. هذا التوقع هو صحيح طالما أن المسافة بين الفرعين تبقى كبيرة بالنسبة للتأرجحات الحرارية في تركيز X. وهنا يحدث ما نرغب في أن نسميه التفرع "المساعَد" assisted. وكما في السابق فحول قيمة هي λ_C يمكن أن يحدث عملية تنظيم ذاتي ولكن الآن أحد النمطين الممكنين يصبح مفضلا وسيتم اختياره.

النقطة الهامة هنا هي في أن هذه الآلية، تعبر عن حساسية مدهشة اعتمادا على السيرورة الكيميائية المسؤولة عن التفرع. تدرك المادة، كما

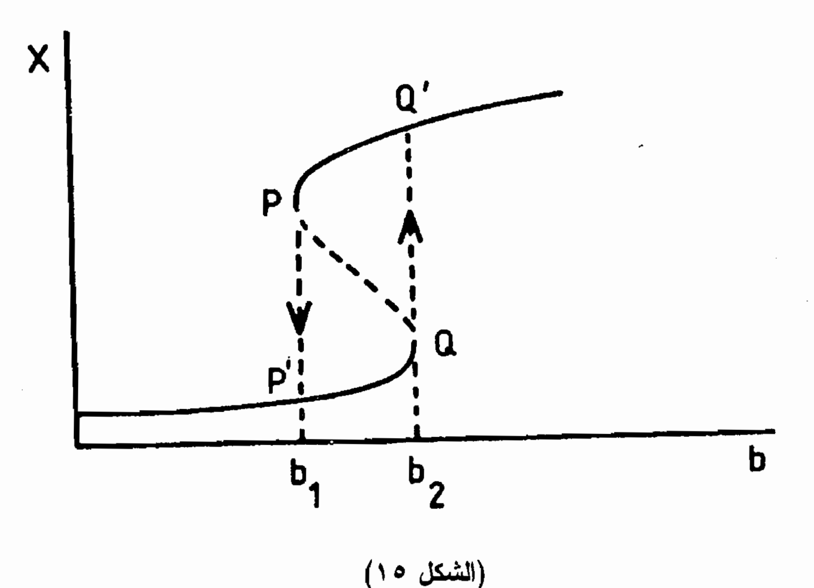
ذكرنا سابقا في هذا الفصل، الفروقات التي يمكن أن تكون مهملة في حالة التوازن. وتقودنا هذه الإمكانيات لأن نتأمل في أبسط المتعضيات، مثل البكترية، التي نعرف أنها قابلة لأن تستجيب لحقول كهربائية أو مغناطيسية. هي تُظهِرُ عموما أن كيمياء البعيد عن التوازن تقود إلى "تكيف" للسيرورات الكيميائية مع الظروف الخارجية. وهذا يتناقض بقوة مع أوضاع التوازن حيث اضطرابات كبيرة أو تحولات في الشروط الحدية هي ضرورية لتقرير تحولٍ من بنية إلى أخرى.

إن حساسية حالات البعد عن التوازن للتأرجحات الخارجية هي مثال آخر "لتنظيم تكيفي" تلقائي لمنظومة مع محيطها الخارجي. لنعط مثالاً [١٢] لتنظيم ذاتي كدالة لشروط خارجية متأرجحة. إن أبسط تفاعل كيميائي يمكن تخيله هو تفاعل الإيزوميرات حيث ($A \leftrightarrow B$). في نموذجنا الناتج A يمكن أن يدخل أيضاً في تفاعل آخر(A+حرارة → *A→ ضوء +A).يمتص A الضوء ويرجعه كحرارة عندما يترك حالته المحرضة (*A). لنعتبر هاتين السيرورتين تجريان في منظومة مغلقة: الضوء والحرارة فقط يمكن أن يبادلا مع الخارج. توجد لاخطية في المنظومة لأن التحول من B إلى A يمتص الحرارة: وكلما كانت درجة الحرارة أعلى كلما كان تشكيل A أسرع. ولكن أيضاً كلما كان تركيز A أكبر كلما كان امتصاص الضوء من A وتحويله إلى حرارة أكبر وكذلك تكون درجة الحرارة أعلى. وتحفز A إنتاج ذاتها.

نتوقع أن نجد تركيز A المقابل للحالة المستقرة يزداد مع شدة الضوء. وهذا هو الواقع بالفعل. ولكن بدءا من نقطة حرجة تظهر إحدى

ظواهر البعد عن التوازن النموذجية: الوجود معا لحالات عدة مستقرة. لأجل نفس القيمة لشدة الضوء والحرارة، فإن المنظومة يمكن أن توجد في حالتين مختلفتين من حالات الاستقرار الثابت بتركيز مختلف لـــ A. تؤشر حالة ثالثة غير ثابتة على عتبة بين الاثنتين. وهذا التواجد لحالات مستقرة يولد الظاهرة المعروفة جيدا بالتشويش hysteresis. ولكن هذا ليس كل القصة. إذا أُخِذَتْ شدة الضوء بدلا من أن تكون ثابتة على أنها متقلبة عشوائيا فإن الوضع سيتغير بعمق. ســتتزايد منطقة التواجد بين الحالتين المســتقرتين ولقيم معينة للمعاملات يصبح ممكناً تواجد ***ثلاثة*** حالات مستقرة ثابتة.

فـــي حالة كهذه فإن تقلباً عشـــوائياً فـــي التدفق الخارجي يدعى عادة "ضجيج" noise بدلاً من أن يصبح إزعاجا ينتج أنماطا جديدة من الســلوك الذي يتضمن فـــي شـــروط تدفقات معينة مخططات تفاعل أكثر تعقيدا. إنه مـــن الضروري التذكر أن الضجيج العشـــوائي فـــي التدفقات يمكـــن أن يعتبر مما لا يمكن تحاشيه في أية "منظومة طبيعية". فمثلاً في منظومات بيولوجيـــة أو بيئيـــة فإن المعامـــلات التي تحـــدد التفـــاعل مـــع المحيـــط لا يمكـــن اعتبارها عموما على أنهـــا ثابتة. الخلية والمشـــكاة البيئية كلاهما يأخذان قوتهمـــا مـــن محيطهمـــا؛ الرطوبة والـــ PH وتركيـــز الملح والضوء والمغذيات كلها تكـــون محيطاً متقلباً دوماً. إن حســـاسية حالات التـــوازن ليـــس فقط بالنســـبة للتقلبـــات الناتجة عـــن فعاليتها الداخلية ولكـــن أيضاً بالنســـبة لتلك الآتية مـــن المحيط تقتـــرح منظورات جديدة للبحث البيولوجي.



(الشكل ١٥)

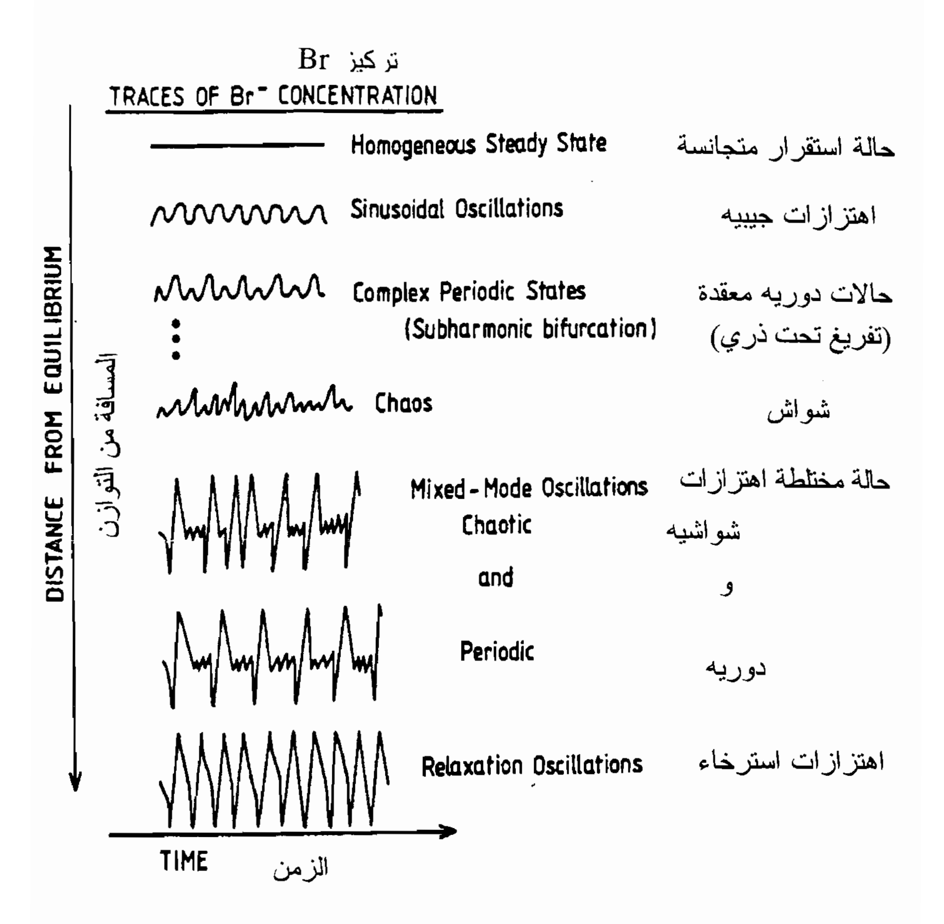
يظهر هذا الشكل كيف تحدث ظاهرة "التشويش".إذا كان لدينا قيمة معامل التفريـــع b أولاً تتزايد ومن ثم تتناقص. إذا كانت المنظومة ابتداء في حالة مستقرة متعلقة بـــالفرع السفلي، فإنها ستبقى هناك بينما تتزايد b ولكن في $b = b_2$ سيكون هنـــاك انقطـــاع: تقفز المنظومة من Q إلى `Q على الفرع العلوي. وبالعكس بدءا من حالة على الفرع العلوي فإن المنظومة ستبقى هناك حتى $b = b_1$ عندما يقفز إلى الأسفل إلى `P. هذه الأنماط من السلوك ثنائي الثبات bistable تشاهد في حقول عدة مثل الليزرات، وفـــي التفاعلات الكيميائية أو على الأغشية البيولوجية.

التفرعات المتسلسلة والانتقالات إلى الشواش

لقـــد عالجت الفقـــرة الســـابقة التفريع الأول فقط أو كمـــا يقـــول الرياضيون التفريع الأولي الذي يحدث عندما ندفع بالمنظومة إلى ما وراء عتبة الثبات. وبعيدا عن استنزاف كل الحلول الجديدة التي يمكن أن تظهر، فإن هذا التفريع الأولي يقدم خاصية وحيدة فقط هي الزمن (دور الدورة الحدية) أو الطول خصيصاً وحيداً. لإنتاج الفعالية الفراغية الزمانية

المعقدة الملاحظة في المنظومات الكيميائية أو البيولوجية، يجب علينا أن نتبع مخطط التفريع أبعد من ذلك.

لقد ألمحنا سابقا إلى الظواهر التي تنشأ عن التلاعب المعقَّد لعديد من الترددات في المنظومات الهيدروميكانيكية أو الكيميائية. لننظر في بنى بينار التي تظهر على بعد حرج من التوازن. أبعد عن التوازن الحراري فإن تيار الحمل يبدأ في التذبذب زمانياً؛ وكلما زيدت المسافة عن التوازن أكثر من ذلك، تظهر ترددات تذبذب أكثر فأكثر وأخيراً يصبح الانتقال إلى الشواش كاملاً(١٣). يُنتِجُ التلاعب ما بين الترددات إمكانات لتقلبات كبيرة؛ و"المنطقة" في مخطط التفريع المحددة بتلك القيم للمعاملات عادة ما تسمى "شواشية". ويكون النظام أو الاتساق، في أمثلة مثل لا ثبات بينار، محشورا بين شواش حراري وشواش لا توازن مضطرب. وفي الحقيقة إذا تابعنا في زيادة تدرج درجة الحرارة، تصبح أنماط الحمل أكثر تعقيدا؛ وتبدأ الاهتزازات، ويتحطم المظهر النظامي للحمل عموما. إلا أنه يجب أن لا نخلط بين "شواش التوازن الحراري" و"شواش اللاتوازن المضطرب". في الشواش الحراري كما يتحقق في التوازن فإن كل مقاييس الفراغ والزمان الخاصتين هما من مجال جزيئي، بينما في الشواش الاضطرابي لدينا وفرة من مقاييس الفراغ والزمان الجهري بحيث تبدو المنظومة مشوشة. تبدو العلاقة بين النظام والشواش في الكيمياء معقدة جدا: إن أنظمة متتابعة من الحالات المنتظمة (مهتزة) تتبع أنظمة ذات سلوك شواشي. شوهد هذا مثلا كدالة لمعدلِ الجريان في تفاعل بيلوسوف-جابوتنسكي.



(الشكل ١٦)

الاهتزازات الزمنية لشاردة Br- فتفاعل بيلوسوف –جابوتنسكي. يمثل الشكل تتابع مناطق تقابل اختلافات في الكيفية. إن هذا تمثيل تخطيطي. تؤشر المعطيات التجريبية على وجود تسلسلات أكثر تعقيداً.

يصعب في حالات كثيرة إزالة إبهام معاني كلمات كثيرة مثل "نظام" "شواش". هل الغابة الاستوائية هي منظومة منظمة أم شواشية؟ إن تاريخ أي نوع من الحيوانات سيبدو طارئا معتمدا على أنواع أخرى وعلى حوادث بيئية. ومع ذلك يبقى الشعور أن النمط الإجمالي لغابة استوائية كما هي ممثلة

مثلا بتنوع الحيوانات تقابل النمط الأمثل للنظام. ومهما كان المعنى الدقيق الذي سنعطيه أخيرا لهذه الاصطلاحات فمن الواضح أنه في بعض الحالات يشكل تتابع التفريعات تطورا لا عكوسا حيث حتمية الترددات الخصوصية تنتج عشوائية متزايدة ناتجة عن تعددية هذه الترددات.

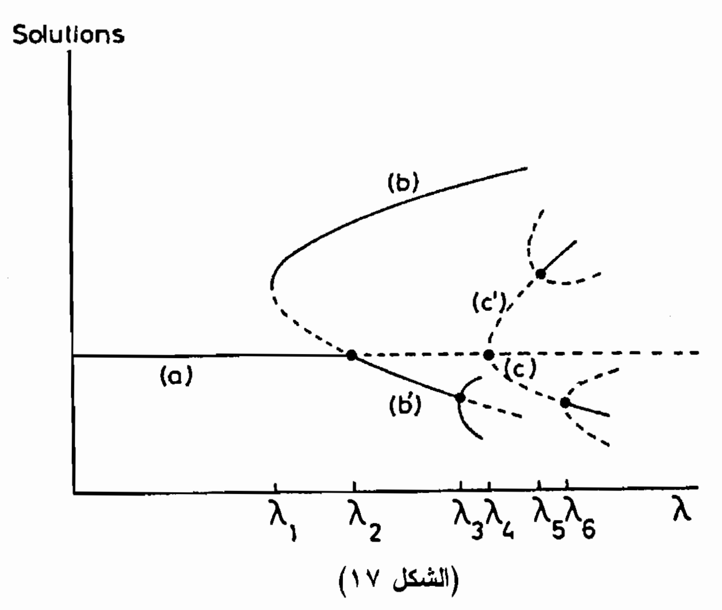
إن طريقا بسيطا بشكل بيِّن إلى "الشواش" والذي جذب الكثير من الانتباه هو "تسلسل فايجن باوم" Feigenbaum إنه يتعلق بأية منظومة يكون سلوكها موصوفا بخاصية عامة جدا – أي لمجال محدد لقيم المعاملات فإن سلوك المنظومة هو دوري بدور هو T؛ وراء هذا المجال يصبح الدور ٢T ثم بعد عتبة حرجة أخرى فإن المنظومة تحتاج إلى ٤T لتكرر ذاتها. وهكذا فإن المنظومة موصَّفة بسلسلة من التفريعات مع تضاعف متتال للدور. ويكون هذا طريقا نمطيا بدءا من سلوك دوري بسيط إلى سلوك لا دوري معقد يحدث عندما يتضاعف الدور إلى *اللانهاية*. هذا المسار كما اكتشف فايجن باوم مُوَّصف بخصائص *عددية كلية* لا تتعلق بالآلية المتضمنة طالما أن المنظومة تملك الخاصية الوصفية بتضاعف الدور. "في الواقع يمكن الآن تحديد معظم الخواص القابلة للقياس لأية منظومة كهذه في هذه الحالة الحدية اللادورية، بطريقة تتجاوز تفاصيل المعادلات الحاكمة لكل منظومة خاصة ..."[١٤]

في الحالات الأخرى مثل تلك الممثلة في الشكل ١٦ فإن العنصر الحتمي والعنصر الستوكاستي [•] كليهما يُوصِّفان تاريخ المنظومة.

إذا نظرنا إلى الشكل ١٧ وإلى قيمة للمعامل (λ_6) فإننا نرى أن لدى المنظومة ثروة من السلوكيات الممكنة الثابتة والغير ثابتة. والمسار "التاريخي" الذي تتطور حسبه المنظومة عندما تتزايد قيم المعامل الحاكم هو

(•) الستوكاستي: ما يتضمن صدفة أو احتمالا .

موصَّفٌ بسلسلة من المناطق الثابتة، حيث تسود القوانين الحتمية ومناطق غير ثابتة قرب نقاط التفرع حيث يمكن للمنظومة أن "تختار" من بين أكثر من مستقبل محتمل. وهكذا فإن الخاصية الحتمية للمعادلات الحركية التي منها يمكن حساب مجموعة الحالات الممكنة وثباتها والتقلبات العشوائية "الاختيار" بين حالات حول نقاط التفريع هي مرتبطة ارتباطا وثيقا. هذا المزيج من الضرورة والمصادفة يكوِّنُ تاريخ المنظومة.



(الشكل ١٧)

مخطط تفريع. حلول حالات منتظمة مرسومة مقابل معامل تفريع λ لأجل $\lambda < \lambda_1$ توجد حالة مستقرة واحدة لكل قيمة لـ (λ)؛هذه المجموعة من الحالات تشكل الفرع a. لأجل $\lambda = \lambda_1$ يصبح هناك إمكانية لمجموعة حالتين (الفرع b والفرع `b). حالات الفرع `b غير ثابتة وتصبح ثابتة في $\lambda = \lambda_2$ بينما تصبح حالات الفرع a غير ثابتة. لأجل $\lambda = \lambda_3$: `b الفرع `b يعود غير ثابت مرة أخرى ويظهر فرعان لحالات ثابتة. لأجل $\lambda = \lambda_4$ فإن الفرع غير الثابت a يصل إلى نقطة تفريع حيث يظهر فرعان جديدان اللذان سيكونان غير ثابتين في λ_5 و λ_6.

من إقليدس إلى أرسطو

إن أحد أهم مظاهر البنى المبددة هو اتساقها. تتصرف المنظومة ككل كما لو كانت محل قوى ذات مجال بعيد. وبالرغم من حقيقة أن التفاعل بين الجزيئات لا يتجاوز (١٠E-٨) سم، إلا أن المنظومة مبنية كما لو أن كل جزيء "يعلم" عن الحالة العامة للمنظومة.

لقد قيل الكثير - ولقد كررنا ذلك سابقا - أن العلم الحديث وُلِد عندما استبدل الفراغ الأرسطي، الذي كان أحد منابع إلهامه تنظيم وتعاضد الوظائف البيولوجية،بفراغ إقليدس المتجانس والمتناحي isotropic. إلا أن نظرية البنى المبددة تقربنا أكثر من تصور أرسطو. إذ أنه أكنا نتعامل مع الساعة الكيميائية، أم الموجات المتمركزة أم التوزيع اللامتجانس للنواتج الكيميائية فإن اللاثبات يكسر التناظر الزمني والمكاني كليهما. وفي دورة حدية limit cycle لا تتعادل لحظتان؛ ويحصل التفاعل الكيميائي على طور phase يشبه ذاك الذي لموجة ضوء مثلا. ومرة أخرى عندما ينتج اتجاه مفضل من لا ثبات، فإن الفراغ يتوقف عن أن يكون متناح إننا ننتقل من فراغ إقليدي إلى فراغ أرسطي !

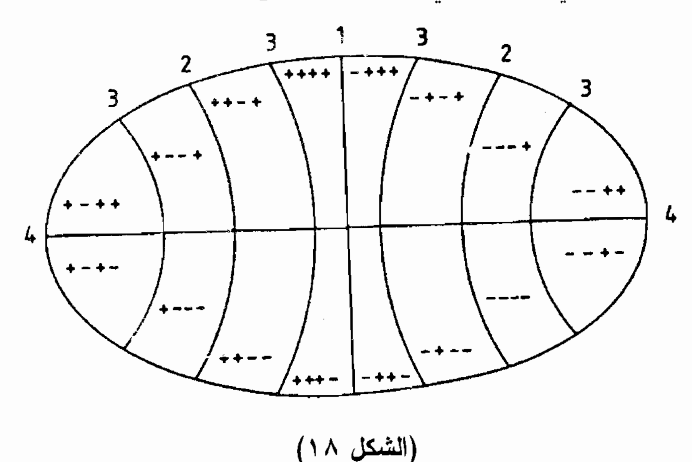
إنها فكرة مغرية أن كسر التناظر في الفراغ والزمان يلعب دورا مهما في الظاهرة المدهشة التكوين التشكيلي morphogenesis. لقد قادت هذه الظاهرة غالبا إلى الاعتقاد بوجود هدف داخلي، لمخطط يتم تنفيذه عندما يتم نمو الجنين. ففي مطلع هذا القرن اعتقد عالم الأجنة الألماني هانز دريش Hans Driesch أن شيئا ما لامادياً "القوة الحيوية" entelechy هو المسؤول عن تطور الجنين. لقد اكتشف أن الجنين في المرحلة الأولى يمكن أن يتحمل

أقسى الاضطرابات وبالرغم منها يتطور إلى متعضية عاملة طبيعية. ومن جهة أخرى فإننا حين نراقب التطور الجنيني من خلال فيلم فإننا "نرى" قفزات تقابل إعادة تنظيم جذري يتبعها فترات من النمو الكمي أكثر "سلمية". ولحسن الحظ فإن الأخطاء قليلة. وتتم عملية القفزات بطريقة يمكن إعادتها. ويمكن أن نتوقع أن الآلية الأساسية للتطور هي مبنية على التناغم بين التفريعات كآليات استكشاف وبين انتقاء التفاعلات الكيميائية المثبتة لمسار معين. لقد قدم فكرة كهذه منذ أكثر من أربعين عاماً البيولوجي وادينغتون Waddington. إن تصور كريود chreod الذي أدخله ليصف المسارات المثبتة للتطور يمكن أن تقابل الخطوط الممكنة للتطور والناتجة عن الأوامر المزدوجة للمرونة والأمان (١٥). من الواضح أن المسألة معقدة جداً ولا يمكن معالجتها هنا إلا باختصار.

منذ عدة أعوام ماضية قدم علماء الأجنة تصوراً لحقل تشكيلي (مورفوجيني) وقدموا الفرض أن تمايز الخلية يعتمد على موضعها في الحقل. ولكن كيف للخلية أن "تعرف" موقعها؟ إحدى الأفكار التي يجري تداولها هو تدرج مادة معينة لأحد أو أكثر من "المورفوجينات"(•) morphogens، ،جينات تشكيل ، يمكن إنتاج هذا التدرج فعلياً بلاثباتات كاسرة للتناظر في حالات بعيدة عن التوازن. ومتى تم إنتاجه فإن تدرجاً كيميائياً يمكن أن يعطي لكل خلية محيطاً كيميائياً مختلفاً وبهذا يحرض كل خلية لأن تُركِّب مجموعتها من البروتينيات. يبدو هذا النموذج المستعمل الآن بشكل واسع متوافقاً مع المشاهدة التجريبية. ويمكن الإشارة إلى أعمال كاوفمان Kauffman (١٦) على

(•) تكوينات التشكيل .

الدروسوفيلا (*)drosophila. تؤخذ منظومة تفاعل -انتشار على أنها المسؤولة عن الارتباط ببرامج تطور مختارة والتي يظهر أنها تحدث في مجموعات مختلفة من الخلايا في الجنين في مراحله الأولى.



(الشكل ١٨)

تمثيل تخطيطي لبنية جنين الدروسوفيلا كما ينتج عن تتاليات الخيارات المزدوجة. أنظر في النص لشرح مفصل.

يمكن أن يُعيَّن كل جزء بتركيب وحيد لخيارات مزدوجة، وكل واحد من هذه الخيارات هو ناتج تفريع كاسر للتناظر. يقود هذا النموذج إلى توقع ناجح لنتائج إزدراعات transplantations كدالة "للمسافة" ما بين المناطق الأصلية والمناطق النهائية - أي لعدد الفروقات بين حالات الاختيار المزدوجة أو "المفاتيح" التي تعين كل واحدة منها.)

هذه الأفكار والنماذج مهمة جدا خاصة في المنظومات البيولوجية حيث يتطور الجنين على ما يظهر في حالة تناظر.(مثلاً في فوكس Fucus والأسيتابولاريا Acetabularia). يمكن أن نتساءل فيما إذا كان الجنين هو حقا

(*) ذبابة الفاكهة وهي مستعملة كثيرا في تجارب الوراثة لسرعة تكاثرها .

متجانس من البداية. وحتى فيما إذا كان هناك لا تجانسات صغيرة في المحيط هل تسبب أو تقود التطور نحو بنية معينة؟ لا توجد أجوبة لهذه الأسئلة في الوقت الحاضر. إلا أن هناك شيئا واحدا قد تم تقريره : هو أن اللاثبات المتعلق بالتفاعلات الكيميائية والنقل يبدو على أنه الآلية العامة القادرة على كسر التناظر لوضع ابتدائي متجانس.

إن احتمالية حل كهذا تأخذنا بعيدا عن النزاع القديم بين الإرجاعيين reductionists ومعارضي الارجاعية. منذ أرسطو (ولقد ذكرنا ستال، هيجل وبرغسون وآخرين من معارضي الارجاعية) تم التعبير عن نفس الاعتقاد: المطلوب تصور لتنظيم معقد يربط ما بين مستويات الوصف المختلفة ويفسر العلاقة ما بين الكل وسلوك الأجزاء. جوابا على الارجاعيين الذين يرون أن "السبب" الوحيد للتنظيم لا يمكن إلا أن يكون في الجزء فإن أرسطو بعلته الصورية وهيجل بظهور الروح في الطبيعة وبرغسون بالفعل الخلاق المنظم يؤكدون أن الكل هو المسيطر ولننقل عن برغسون:

عموماً عندما يبدو موضوع ما من منظور على أنه بسيط ومن منظور آخر على أنه معقد لدرجة لا نهائية، فإن المنظورين لا يمكن أن يكون لهما بأية طريقة نفس الأهمية، أو بالأحرى ذات الدرجة من الواقعية. في حالات كهذه فإن البساطة هي في الموضوع نفسه والتعقيد اللانهائي هو في المنظورات التي نأخذها حين ندور حوله، هو في الرموز التي تمثله لنا احساساتنا أو إدراكنا أو على العموم لعناصر من *نظام مختلف* التي نحاول بها أن نقلده صنعيا ولكنه بذلك يبقى غير قابل للقياس كونه من طبيعة مغايرة. لقد رسم رسام ذو عبقرية شكلا على لوحة. يمكننا أن نقلد لوحته بمربعات عديدة الألوان من الموزاييك. ويمكننا إعادة رسم منحنيات وظلال النموذج بشكل أفضل كلما كانت مربعاتنا أصغر وأكثر

عددا وأكثر تنوعا بالألوان. ولكن يلزم عناصر لانهائية في الصغر تمثل لانهاية من الظلال لكي نحصل على معادل تام للشكل الذي تصوره الفنان على أنه شيء بسيط والذي أراد نقله إلى لوحته والذي يبدو لنا أكثر اكتمالاً عندما ننظر إليه على أنه إسقاط لحدس مدهش غير قابل للانقسام.(١٧)

لقد ظهر في البيولوجيا النزاع بين الارجاعيين وخصومهم على أنه نزاع بين التأكيد على هدف خارجي وبين التأكيد على هدف داخلي. وهكذا فإن فكرة ذكاء منظم مفارق كانت عادة تُعارض بنموذج تنظيم مستعار من تكنولوجيات ذلك العصر(ميكانيكي، حرارة، آلات سيبرية) التي تستدعي الجواب الفوري: "من" بنى الآلة أو الأنسالي الذي يخضع للهدف الخارجي؟ وكما أكد برغسون في بداية هذا القرن، كلا النموذجين: النموذج التكنولوجي والفكرة الحيوية لقوة تنظيم داخلية هما تعابير عن عدم القدرة على تصور تنظيم تطوري دون الإشارة فورا إلى الوجود السابق لهدف ما. واليوم وبالرغم من النجاح الباهر للبيولوجية الجزيئية يبقى الوضع التصوري تقريبا ذاته: يمكن تطبيق حجة برغسون على مجازات معاصرة مثل "منظم" organizer، "معدل" regulator، و"برنامج وراثي". ولقد انتقد بيولوجيون غير تقليدين أمثال بول فايس Paul Weiss وكونراد واديغنتون Conrad Waddington(١٨) الطريقة التي ينسبها هذا النوع من التصنيف للجزيئات المفردة القوة لإنتاج نظام البيولوجية الشامل الذي تحاول البيولوجية جاهدة أن تفهمه، وبعملها هذا تأخذ بصياغة المسألة على أنها حل لها.

يجب الاعتراف بأن التماثلات التكنولوجية في البيولوجية ليست دون أهمية. إلا أن الصحة العامة لهكذا تماثلات ستتضمن أنه كما في دارة

دكهربائية مثلا هناك تجانس أساسي بين توصيف التفاعل الجزيئي والسلوك الشامل: يمكن استنتاج وظيفة دارة من طبيعة ومواقع مرحلاتها relays، ويشير كلاهما إلى نفس المقياس حيث أن المرحلات قد صممت ووضعت من نفس المهندس الذي صمم الآلة بأكملها وهذا ليس هو القاعدة في البيولوجية.

صحيح حين نأتي إلى منظومة بيولوجية مثل الإنجذاب الكيميائي للبكتريا bacterial chemotaxis فإنه من الصعب عدم التكلم عن آلة جزيئيه حاوية على مستقبلات وعلى منظومات حساسة وناظمة وعلى استجابة محركة. إننا نعرف تقريبا حوالي عشرين أو ثلاثين مستقبلا ت يمكنها أن تكشف أنواعا معينة من المركبات العالية التخصص، وتجعل البكترية تسبح إلى الأعلى في تدرجات فراغية جاذبة أو إلى الأسفل في تدرجات مُنفِّرة. و يتحدد هذا "السلوك" بإنتاج المنظومة المحولة - أي في فتح وإغلاق مفتاح قلاب الذي ينشئ تغييرا في اتجاه البكترية[١٩].

ولكن حالات كهذه مع أنها ممتعة إلا أنها لا تخبرنا بكل القصة. في الواقع هي مغرية في أننا نراها كحالات حدية، كنواتج نهائية لنوع خاص من التطور الانتقائي مؤكدة على السلوك الثابت والقابل لاعادة الإنتاج ضد الانفتاح والتكيف. ومن هذا المنظور فإن ملاءمة المجاز التكنولوجي ليست موضوع مبدأ ولكن موضوع فرصة متاحة.

إن مسألة النظام البيولوجي تتضمن انتقالا من الفعالية الجزيئية إلى نظام خلوي ما فوق جزيئي. وهذه مسألة لم تزل غير محلوله.

عادة ما يُقدَّم النظام البيولوجي على أنه حالة فيزيائية غير محتملة، تخلقها وتحفظها أنزيمات بما يشبه جني ماكسويل، الأنزيمات التي تبقي على

الفرو قات الكيميائية في المنظومة بنفس الطريقة التي يحفظ بها جني ماكسويل فروق الحرارة والضغط. إذا قبلنا بهذا فإن البيولوجية ستكون في وضع كما وصفه ستال. تسمح قوانين الطبيعة بالموت فقط. وفكرة ستال عن الفعل التنظيمي للروح تحل مكانها المعلومات الجينية الموجودة في الحموض النووية ومعبراً عنها بتشكيل أنزيمات تسمح للحياة بأن تستمر. تؤخر الأنزيمات الموت واختفاء الحياة.

في إطار فيزياء السيرورات اللاعكوسة فإن لنتائج البيولوجية معنى مختلف ونتائج مختلفة. إننا نعرف الآن أن المحيط البيولوجي عل العموم كما ومكوناته أكانت حية أم ميتة توجد في حالات بعيدة عن التوازن. وفي هذا السياق فإن الحياة بعيداً عن أن تكون خارج النظام الطبيعي تبدو على أنها التعبير النهائي للسيرورات المنظمة لذاتها التي تحدث.

إنه من المغري أن نذهب إلى البعد الكافي لنقول أنه متى تم تحقيق شروط التنظيم الذاتي فإن الحياة تصبح قابلة للتنبؤ مثل لا ثبات بينار أو سقوط حجر. إنها واقعة مدهشة أن الاكتشاف الحديث لأشكال مستحاثية للحياة تظهر تقريبا متزامنة مع أول تشكيلات للصخور (أقدم مستحاثة ميكروبية معروفة اليوم تعود إلى 3.8×10^{9} سنة بينما يعود عمر الأرض إلى 4.6×10^{9}سنة، وإن تشكل أول صخور يرجع إلى 3.8×10^{9}سنة). إن الظهور المبكر للحياة هو حجة لصالح فكرة أن الحياة هي ناتج تنظيم ذاتي تلقائي والذي يحدث متى كانت الشروط تسمح بذلك. إلا أننا يجب أن نعترف أننا لا نزال بعيدين عن أية نظرية كمية.

لنعد إلى فهمنا للحياة وللتطور، إننا اليوم في موقع أفضل لتحاشي المخاطر المتضمنة في أي تشهير بالارجاعية. يمكن أن نصف منظومة

بعيدة عن التوازن على أنها منظمة ليس لأنها تحقق خطة غريبة عن الفعاليات الابتدائية أو أنها تتجاوزها ولكن على العكس بسبب التضخيم لتقلب صغري يحدث في "اللحظة المناسبة" والناتجة عن تفضيل مسار تفاعل وحيد على عدد آخر من المســارات الأخرى المتساوية الاحتمال. ولهذا ففي ظروف معينة يمكن أن يكون الدور الذي يلعبه سلوك فردي حاسما. وعلى العموم فإن السلوك "الإجمالي" لا يمكن اعتباره عموما على أنه المسيطر بأي شــكل على الســيرورات الابتدائية المكونة له. إن الســيرورات المنظِّمة لذاتها في الظروف البعيدة عن التوازن تقابل تلاعبا دقيقا بين المصادفة والضرورة بين التقلبات والقوانين الحتمية. وإننا نتوقع أنه بالقرب من تفريع فإنه تلعب التأرجحات أو العناصر عشوائية دورا هاما، بينما بين التفرعات فإن المظاهر الحتمية ستكون هي المهيمنة. هذه هي الأسئلة التي نحن بحاجة إلى بحثها بتفصيل أكبر.

الفصل السادس

النظام من خلال التأرجحات

التأرجحات والكيمياء

لقد لاحظنا في المقدمة أنه تتم الآن مراجعة للتصورات في العلوم الفيزيائية. إنها تتحول من السيرورات العكوسة الحتمية إلى السيرورات اللاعكوسة والستوكاستية stochastic. إن تغيير المنظور هذا يؤثر على الكيمياء بطريقة صارخة. فكما رأينا في الفصل الخامس فإن السيرورات الكيميائية بالعكس من المسارات في الديناميك الكلاسيكي تقابل السيرورات اللاعكوسة. وتقود التفاعلات الكيميائية إلى إنتاج أنطروبية ،ومن جهة أخرى تتابع الكيمياء الكلاسيكية اعتمادها على توصيف حتمي للتطور الكيميائي. وكما رأينا في الفصل الخامس من الضروري إنتاج معادلات تفاضلية تتضمن تركيز المواد الكيميائية المختلفة المكونة. ومتى عرفنا هذه التركيزات في زمن ابتدائي ما (كذلك عند الشروط الحدية المناسبة عندما تكون الظواهر المعتمدة على المكان مثل الانتشار مشاركة)، يمكننا أن نحسب ماذا سيكون عليه التركيز في وقت متأخر. من المفيد أن نشير إلى أن المنظور الحتمي للكيمياء يُخفِقُ عندما تكون السيرورات المُتضمَّنة هي تلك البعيدة عن التوازن.

لقد أكدنا مراراً على دور التأرجحات. ولنلخص هنا بعضاً من الخواص المدهشة. عندما نصل إلى نقطة تفريع يتهدم التوصيف الحتمي. سيقود نوع التأرجحات المتواجدة في المنظومة إلى اختيار الفروع التي ستتبعها المنظومة. إن التقاطع مع تفريع هو سيرورة ستوكاستية مثل رمي قطعة نقود (في الهواء لمعرفة فيما إذا كانت ستقع طرة أو نقشاً). ويقدم الشواش الكيميائي مثالاً آخر. (أنظر الفصل الخامس) وهنا لم نعد نستطيع اتباع مسار كيمائي منفرد.لا يمكننا التنبؤ بتفاصيل التطور الزمني. نرى مرة أخرى أن الممكن هو توصيف إحصائي فقط. يمكن النظر إلى وجود لإثبات على أنه نتيجة تأرجح هو أولاً متموضِعٌ في جزء صغير من المنظومة ثم ينتشر ويقود إلى حالة جهرية جديدة.

يُغيِّر هذا الوضع المنظور التقليدي للعلاقة بين المستوى الصغري كما هو موصوف بالجزيئات أو الذرات والمستوى الجهري الموصوف بمتحولات عامة مثل التركيزات. في الكثير من الأوضاع تقابل التأرجحات تصحيحات صغيرة فقط. كمثال لنأخذ غازاً مؤلفاً من N جزيء موجود في إناء ذي حجم V ولنقسم هذا الحجم إلى قسمين متساويين. ما هو عدد الجزيئات X في أي من هذين القسمين؟ هنا المتحول X هو متحول "عشوائي" random ونحن نتوقع أن تكون قيمته في هذه الحالة حوالي N/٢.

هناك نظرية أساسية في حساب الاحتمالات وهي قانون الأعداد الكبيرة والذي يقدم تقديراً "للخطأ "الناتج عن التأرجحات. عندما نقول أننا قسنا مقدارا X فإننا نتوقع في الجوهر أن تكون القيمة بحدود $(N/2 \pm \sqrt{N/2})$ إذا كانت (N) كبيرة فإن الفرق الناتج عن التأرجحات $\sqrt{N/2}$ يمكن أن يكون أيضاً كبيراً $(N = 10^{24}, \sqrt{N} = 10^{12})$ إلا أن الخطأ النسبي هو من مستوى

$(N/2)/(\sqrt{N/2})$أو ($1/\sqrt{N}$) وهكذا فهو يتناهى إلى الصفر لقيمة كبيرة بشكل كاف لـــ N. وحالما تصبح المنظومة كبيرة بكفاية فإن قانون الأعداد الكبيرة يسمح لنا بالتمييز بين القيم الوسطية والتأرجحات ويمكن إهمال هذه الأخيرة.

إلا أنه في السيرورات اللامتوازنة فإننا يمكن أن نجد الوضع المعاكس تماماً. فإن التأرجحات هي التي تحدد الناتج الإجمالي. ويمكن أن نقول أن التأرجحات بدلا من أن تكون تصحيحات في القيم الوسطية فإنها الآن تحول هذه القيم الوسطية. هذا وضع جديد. لهذا السبب نرغب في أن ندخل كلمة جديدة وأن ندعو الأوضاع الناشئة عن هذه التأرجحات ب"نظام من خلال التأرجحات "وقبل أن نضرب أمثلة لنقدم بعض الملاحظات العامة لكي نشرح الجدة التصورية لهذا الوضع.

يمكن أن يكون القرّاء على معرفة بعلاقات الارتياب لهاينزنبرغ Heisenberg، التي تعبر بطريقة صارخة عن المظاهر الاحتمالية لنظرية الكم. وحيث أننا لا نستطيع أن نقيس معا في نظرية الكم الموضع والعزم ، فإن الحتمية الكلاسيكية تنهار. ولقد ظُنَّ أن هذا لن يكون ذا أهمية في توصيف الأشياء الجهرية مثل المنظومات الحية. ولكن دور التأرجحات في المنظومات اللامتوازنة يُظهِرُ أن الأمر ليس كذلك. كذلك تبقى العشوائية أساسية على المستوى الجهري. إنه من المهم أن نشير إلى تشابه آخر مع نظرية الكم التي تعين سلوكا موجيا لكل جزيء أولي. وكما رأينا فإن المنظومات الكيميائية البعيدة عن التوازن يمكن أيضا أن تقود إلى سلوك موجي متسق : وهي الساعات الكيميائية التي تم بحثها في الفصل الخامس. ومرة أخرى فإن بعض خصائص ميكانيك الكم التي تم كشفها على المستوى الصغري تظهر الآن على المستوى الجهري.

تساهم الكيمياء بفعالية في إعادة النظر في تصورات العلم[١]. وربما كنا في بداية اتجاهات جديدة في البحث. ويمكن أن يكون كما اقترحت بعض الحسابات الحديثة، يجب أن تستبدل فكرة معدل التفاعل في بعض الحالات بنظرية إحصائية تتضمن توزيعا لاحتمالات التفاعل[٢].

التأرجحات والترابطات

لنعد إلى أنماط التفاعلات الكيميائية التي بحثناها في الفصل الخامس. ولنأخذ مثالا محددا سلسلة التفاعلات مثل $A \longleftrightarrow X \longleftrightarrow F$. تشير المعادلات الحركية في الفصل الخامس إلى وسطي التركيزات. وللتأكيد على ذلك فإننا سنكتب الآن <X> بدلا من X. ومن ثم سيكون ممكنا أن نسأل ما احتمال في زمن معين أن نجد عددا X لتركيز هذا المركب. من الواضح أن هذا الاحتمال سيتأرجح،كما يفعل عدد التصادمات بين الجزيئات المختلفة المتضمنة. من السهل كتابة معادلة تُوصِّف التغير في التوزيع الاحتمالي P(X،t) كنتيجة لسيرورات تُنتِجُ جزيئا X ولسيرورات تُدمِّر هذا الجزيء. ويمكننا أن نقوم بالحساب من أجل منظومات متوازنة أو منظومات في حالات مستقرة steady state. لنذكر أولاً النتائج الحاصلة لمنظومات متوازنة.

نسترجع في حالة التوازن خائليا توزيعاً احتمالياً كلاسيكياً، توزيع بواسون Poisson، الذي يُشرَح في أي كتاب مدرسي عن الاحتمالات، حيث أنه صحيح في حالات مختلفة، مثل التوزيع في المهاتفات التلفونية وزمن الانتظار في المطاعم أو التأرجحات في تركيز الجزيئات في غاز أو سائل. ليست مهمة هنا الصيغة الرياضية لهذا التوزيع. إننا نريد فقط أن نؤكد على مظهرين لهذا التوزيع. أولاً

هو يقود إلى قانون الأعداد الكبيرة كما صيغ في الفقرة الأولى من هذا الفصل. وهكذا فإن التأرجحات تصبح مهملة في منظومة كبيرة. بالإضافة إلى ذلك يسمح لنا هذا القانون أن نحسب الترابطات بين عدد الجزيئات X في نقطتين مختلفتين من الفراغ على بعد r عن بعضهما. ويبرهن الحساب أنه في حالة التوازن ليس هناك من ترابط. إن احتمال إيجاد جزيئين X و`X في نقطتين مختلفتين r و`r هو حاصل ضرب احتمال إيجاد X في r بـ احتمال إيجاد `X في `r (تعتبر المسافات كبيرة بالنسبة لمجال القوى ما بين الجزيئية).

إحدى النتائج غير المتوقعة للأبحاث الحديثة هو أن الوضع يتغير كلياً عندما ننتقل إلى حالات اللاتوازن.فأولاً حين نقترب من نقاط التفريع تصبح التأرجحات كبيرة بصورة غير عادية ويتم نقض قانون الأعداد الكبيرة. وهذا متوقع حيث يمكن للمنظومة حينئذ أن "تختار" بين عدة أنظمة مختلفة ويمكن حتى للتأرجحات أن تصل إلى نفس مستوى قياس القيم الوسطى الجهرية. ثم ينهار التمييز بين التأرجحات والقيم الوسطى.إلا أنه في حالة الأنماط اللاخطية للتفاعلات الكيميائية التي درسناها في الفصل الخامس تظهر ترابطيات ذات مجال طويل: حيث تصبح مترابطة- جزيئات تفصل بينها مسافات جهرية. يصبح لحوادث محلية صدى خلال المنظومة بأكملها. إنه من المهم أن نلاحظ(٣) أنه تظهرترابطات ذات مجال طويل كهذه بالضبط في نقطة التحول من التوازن إلى اللاتوازن. من وجهة النظر هذه يشبه هذا التحول تحول الطور. إلا أن مطالات هذه الترابطات ذات المجال الطويل هي في البدء صغيرة ولكنها تتزايد مع الابتعاد عن التوازن ويمكن أن تصبح لانهائية في نقاط التفريع.

إننا نعتقد أن هذا النوع من السلوك هو مهم جدا، حيث أنه يعطي قاعدة جزيئيه لمسألة الاتصال المذكورة في بحثنا في الساعة الكيميائية. وحتى قبل التفريع الحهري، فإن المنظومة منظمة من خلال هذه الترابطات ذات المجال الطويل. نعود إلى أحد الأفكار الأساسية لهذا الكتاب : اللاتوازن كمصدر للنظام. وهنا فإن الوضع هو واضح بشكل خاص. تتصرف الجزيئات على أنها كينونات مستقلة أساسا؛ إنها تتجاهل بعضها. ونرغب في أن ندعوها "هبنون" hypnons "السائرون وهم نيام". ومع أن كل واحدة منها يمكن أن تكون على درجة من التعقيد كما نريد فإنها تتجاهل إحداها الأخرى. إلا أن اللاتوازن يوقظها ويدخل اتساقا غريبا تماما عن التوازن. إن النظرية الصغرية للسيرورات اللاعكوسة التي سنوضحها في الفصل التاسع ستقدم صورة مشابهة للمادة.

إن فعالية المادة متعلقة بشروط اللاتوازن التي يمكن أن تحدثها بذاتها. وتماما كسلوكها الجهري فإن قوانين التأرجحات والترابطات هي عامة في حالة التوازن (حيث نجد نمط توزيع بواسون)؛ وتصبح خصيصة جدا اعتمادا على نمط اللاخطية المتضمنة عندما نتجاوز الحد ما بين التوازن واللاتوازن.

تكبير التأرجحات

لنأخذ أولا مثالين حيث يمكن متابعة نمو تأرجح سابق لتشكيل بنية جديدة بشكل مفصل. الأول هو تجمع البكترية المخاطية slime molds الذي عندما يهدده الجوع يتلاصق في كتلة وحيدة فوق خلوية. لقد ذكرنا هذا في الفصل الخامس. وهناك تمثيل آخر لدور التأرجحات في المرحلة الأولى من

بناء عش الأرضة termites nest. وكان أول من وصف هذا هو غراسييه Grasse ودرسها دينيبورغ Deneubourg من وجهة نظر تهمنا هنا.(٤)

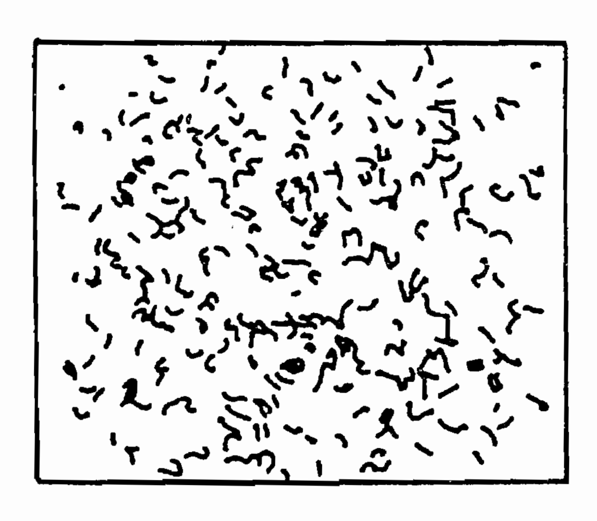
عملية التجمع الذاتي في عشيرة حشرية insect population:

إن يرقات حشرة غمديات الأجنحة larvae of coleoptera موزعة ابتداء بعشوائية بين لوحين أفقيين من الزجاج يبعدان عن بعضهما ٢ مم. الحواف مفتوحة والسطح تساوي مساحته لـــ ٤٠٠ سم ٢.

تبدو سيرورة التجمع ناتجة عن التنافس بين عاملين : الحركات العشوائية لليرقات ورد فعلها لناتج كيميائي وهو "فيرومون" تركبه من تربينات terpenes موجودة في الشجرة التي تتغذى عليها.هذه الفيرومونات تصدرها كل واحدة منها بمعدل يعتمد على حالة تغذيتها. ينتشر الفيرومون في الفراغ وتتحرك اليرقة باتجاه تدرج تركيزه. يقدم هذا التفاعل آلية ذاتية التحفيذ حيث عندما تتجمع اليرقات في رزمة فإنها تساهم في رفع درجة الجذب لتلك المنطقة. وكلما كانت كثافة اليرقات في تلك المنطقة أعلى فإن التدرج يصبح أشد وكذلك يصبح الميل للتحرك نحو نقطة التجمع.

تظهر التجربة أن كثافة عشيرة اليرقات تُعيِّن ليس فقط معدل عملية التجميع ولكن فعاليتها أيضاً - أي عدد اليرقات التي ستصبح أخيرا جزءا من الرزمة. وتظهر الرزمة في شروط الكثافة العلوية (الشكل A) وتنمو بسرعة في مركز عينة التجربة. في شروط الكثافة المنخفضة لا تظهر رزمة ثابتة (الشكلB).

بالإضافة إلى ذلك فإن تجارب أخرى قد بحثت عن إمكان تبلور رزمة بدءا من نواة مخلقة صنعيا في منطقة طرفية من المنظومة. وتظهر حلول مختلفة معتمدة على عدد اليرقات في هذه النواة البدئية.

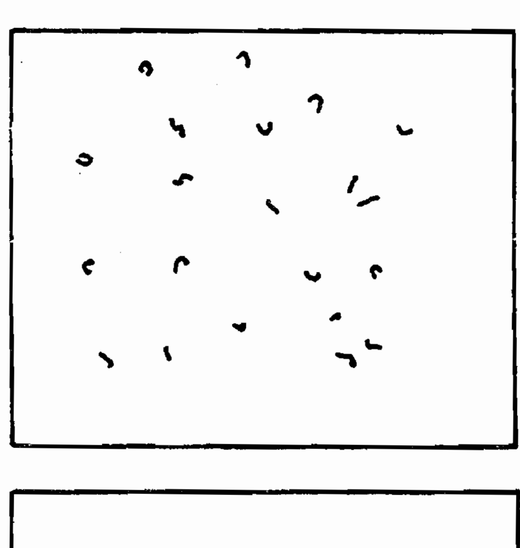


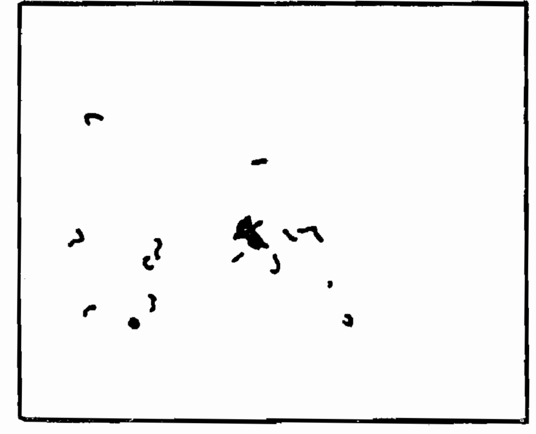


(الشكلA)

التجمع الذاتي في حالة كثافة عليا. الأزمنة هي زمن ٠ وزمن ٢١ دقيقة.

إذا كان العدد صغيرا بالنسبة للعدد الإجمالي لليرقات، فإن الرزمة تخفق في التطور (الشكلD). إذا كان العدد كبيرا فإن الرزمة تنمو (الشكلE). ولقيم وسيطة للنواة البدئية يمكن أن تتطور أنماط جديدة من البنى: يمكن أن تتواجد رزمتان وثلاثة أو أربعة لزمن حياة على الأقل أكبر من زمن الملاحظة (الشكلF وG).

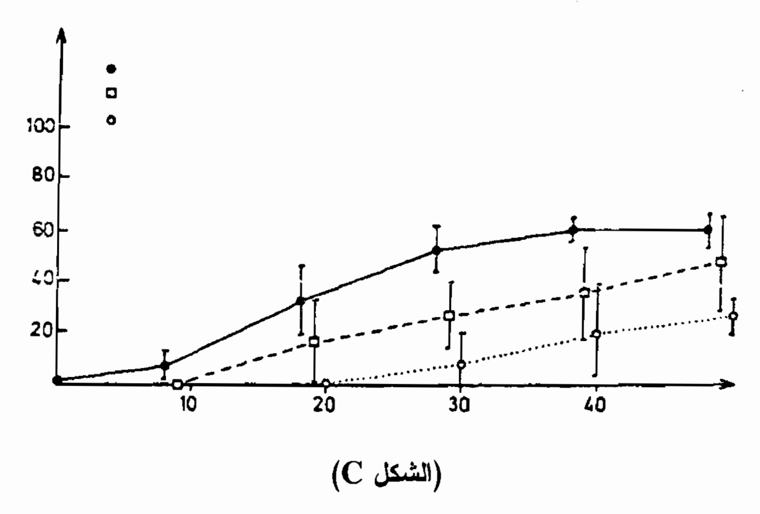




(الشكلB)

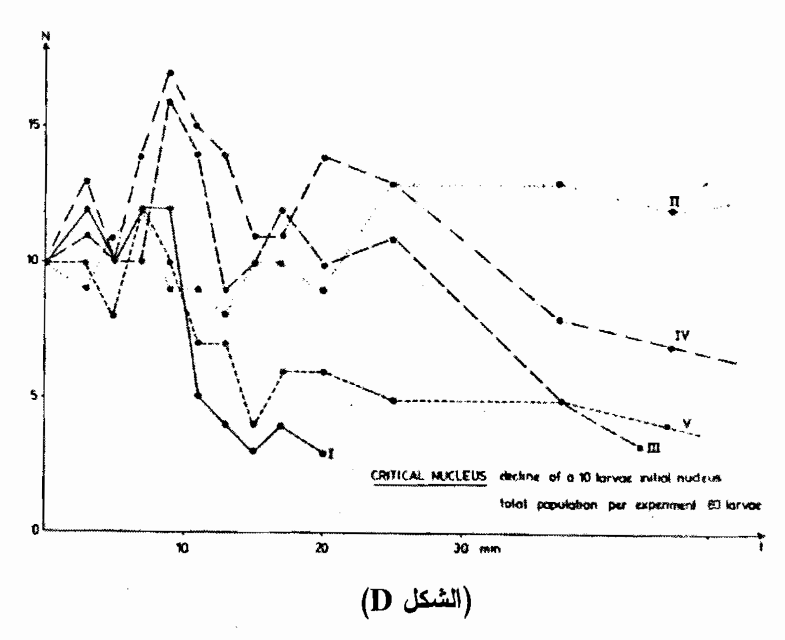
التجمع الذاتي في كثافة منخفضة. الأزمنة هي زمن ٠ دقيقة و٢٢ دقيقة.

لم تلاحظ أبدا بنية عديدة الرزم كهذه في تجارب تحت شروط ابتدائية متجانسة. إنه يبدو أنها تتعلق بمخطط تفريع لحالات ثابتة متوافقة مع قيم المعاملات التي توصف المنظومة والتي لا يمكن لهذه المنظومة أن تصل إليها بادئة من حالات متجانسة.ستلعب النواة دور الاضطراب المحدد الضروري لتحريض المنظومة ولتهجيرها إلى منطقة في مخطط التفريع مقابل للعوائل ذات الحلول متعددة الخلايا.



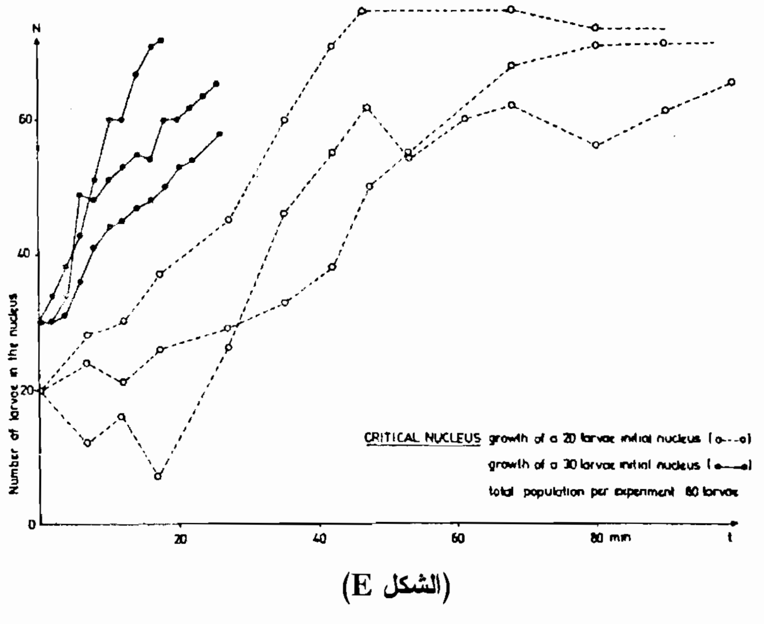
(الشكل C)

النسبة المئوية من العدد الاجمالي لليرقات في مركز التجمع كدالة للزمن في ثلاثة كثافات مختلفة.



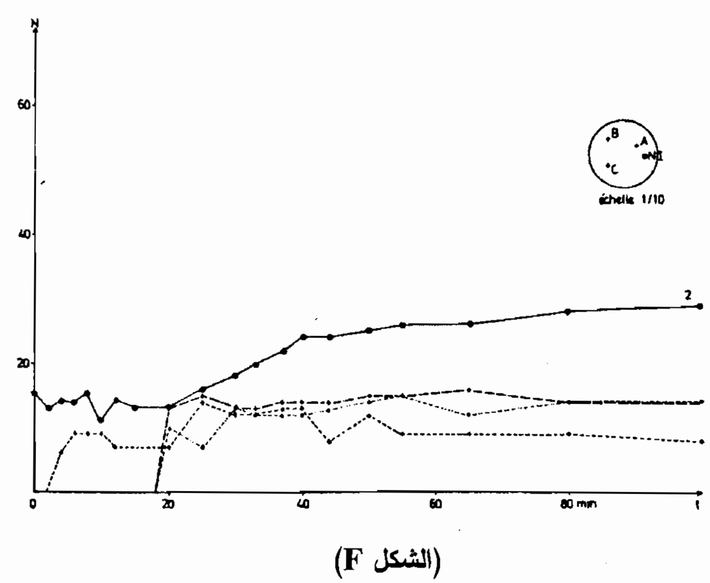
(الشكل D)

سقوط التجمعات البدئية من ١٠ يرقات. عدد العشيرة الكامل ٨٠ يرقة ،N: عدد اليرقات في الرزمةcluster



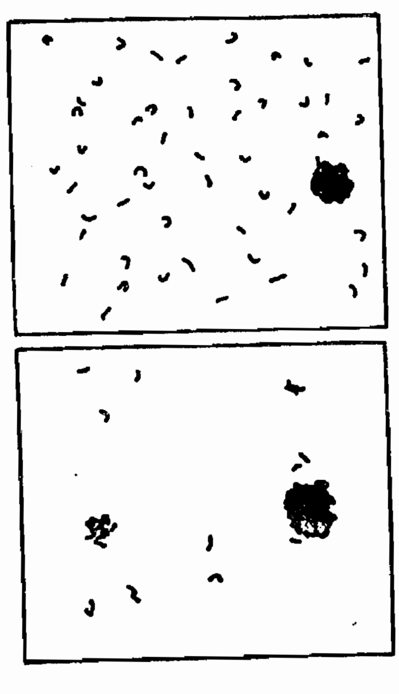
(الشكل E)

نمو الرزم البدئية من ٢٠ و٣٠ يرقة.



(الشكل F)

حلول متعددة الرزم. القيمة البدئية لعدد اليرقات ١٥، العشيرة بالكامل ٨٠ يرقة.



(الشكل G)

نمو الرزمة (i) المدخل محيطيا، والذي يحرض تشكيل رزمة ثانية أصغر (ii).

إن بناء عش الأرضة هو أحد الفعاليات المتسقة التي قادت بعض العلماء إلى افتراض وجود "عقل جمعي" collective mind في المجتمعات الحشرية. ولكن الغرابة أنه يبدو أنه في الواقع يلزم للأرضة معلومات جد قليلة لكي تساهم في بناء كبير ومعقد كهذا العش. المرحلة الأولى من هذه الفعالية هي بناء القاعدة ولقد بيَّن غراسيه Grasse على أنها نتيجة لما يبدو أنه سلوك فوضوي للأرضة. في هذه المرحلة فإنها تنقل وترمي بأقراص من التراب بطريقة عشوائية، ولكنها وهي تقوم بهذا فإنها تُشبِعُ هذه الأقراص بهرمون يجذب الأرضة الأخرى. ويمكن وصف الحالة كالتالي : "التأرجح" البدئي سيكون تركيزا أكبر قليلا لأقراص التراب الذي سيحدث

حتما في وقت ما في بقعة ما من المنطقة. وإن تكبير هذا الحدث يتم بوجود كثافة متزايدة للأرضة، المنجذبة بالتركيز المتزايد قليلا للهرمون، في المنطقة. وعندما تصبح أعداد الأرضة في المنطقة أكبر فإن احتمال رميها بأقراص التربة هناك سوف تزداد مستتبعة بدورها تركيزا أكبر في الهرمون. وبهذه الطريقة يتم تشكيل "أعمدة" مفصولة بمسافة لها علاقة بمسافة انتشار الهرمون. ولقد تم وصف أمثلة مشابهة حديثا.

ومع أن مبدأ النظام لبولتزمن يمكننا من أن نوصِّف السيرورات الكيميائية أو البيولوجية حيث يتم تمهيد leveled الفرو قات ويتم تناسي الشروط الابتدائية،إلا أنه لا يمكن تفسير حالات كهذه حيث تقود "قرارات" قليلة في حالة غير ثابتة المنظومة المشَّكلة من عدد كبير من الكيانات المتفاعلة نحو بنية شاملة.

عندما تَنتُجُ بنية جديدة عن اضطراب محدد، فإنه لا يمكن على الأغلب للتأرجح الذي يقود من نظام إلى آخر أن يتجاوز الحالة الابتدائية بحركة واحدة. على التأرجح أن يُثِّبت ذاته في منطقة محدودة ومن ثم يغزو الفراغ كله؛ هناك آلية ***نووية Nucleation mechanism*** [تشكيل نويات بدئية]. واعتمادا على ما إذا كانت منطقة التأرجح الابتدائي تقع أعلى أو أخفض من قيمة حرجة (في حالة البنى الكيميائية المبدِدة، تعتمد هذه العتبة بخاصة على الثوابت الحركية ومعاملات الانتشار) فإن التأرجح إما أن يتراجع أو ينتشر ليعم كافة المنظومة. إننا ملمون بظاهرة النووية في النظرية الكلاسيكية لتغير الطور : فمثلا تتشكل في غاز باستمرار قطرات التكاثف وتتبخر. وأن وصول درجة الحرارة والضغط إلى نقطة حيث تصبح حالة السائل ثابتة تعني أن الحجم الحرج للقطرة يمكن تعيينه (الذي

هو أصغر كلما كانت درجة الحرارة أخفض والضغط أعلى). إذا تجاوز حجم القطرة "عتبة النووية" هذه فإن الغاز يتحول تقريبا فورا إلى سائل.

بالإضافة إلى ذلك تظهِرالدراسات النظرية والمحاكاة العددية أن حجم النوية الحرجة يزداد مع مردود آليات الانتشار التي تربط كل مناطق المنظومات. بكلمات أخرى كلما كان الاتصال الجاري ضمن المنظومة أسرع، كلما كانت أكبر نسبة التأرجحات غير الناجحة وهكذا كلما كانت المنظومة أكثر ثباتا. هذا المظهر لمسألة الحجم الحرج تعني أنه في أوضاع كهذه فإن "العالم الخارجي" أو بيئة منطقة التأرجح تميل دوما إلى أن تُخامِدَ التأرجحات. وهذه سيتم القضاء عليها أو تُكبَّر حسب فاعلية الاتصال بين منطقة التأرجح والعالم الخارجي. وهكذا فإن الحجم الحرج يتعين بالتنافس بين "قوة تكامل" integrative power المنظومة والآليات الكيميائية المكبرة للتأرجح.

ينطبق هذا النموذج على نتائج تم الحصول عليها حديثا في دراسات ***تجريبية*** ***in vitro*** على بدء الأورام السرطانية (٥). يمكن النظر إلى خلية سرطانية مفردة على أنها "تأرجح" قابل للظهور دون ضابط ودوما وأن يتطور بنسخ نفسه. ثم يواجه بعشيرة من خلايا السامة cytotoxic التي إما أن تنجح في القضاء عليه أو تفشل. وباتباع القيم المختلفة للمعاملات المُوصِّفة لعمليات النسخ أو الإفناء يمكننا التنبؤ إما بتراجع أو تضخم الورم. قاد هذا النوع من الدراسة الحركية إلى التعرف على خواص غير متوقعة للتفاعل بين الخلايا السامة cytotoxic والورم. ويبدو أنه يمكن لهذه الخلايا أن لا تفرق بين خلايا ورمية ميتة وأخرى حية. وكنتيجة لهذا فإن تدمير الخلايا السرطانية يصبح أكثر صعوبة.

(a) (b)

(الشكل ١٩)

تشكيل نوية قطرة سائل في بخار فوق مشبع. a القطرة أصغر من الحجم الحرج b القطرة أكبر من الحجم الحرج. لقد تم البرهان على وجود العتبة تجريبيا لأجل البنى المبددة.

لقد أُبرِزت مسألة حدود التعقيد كثيرا. وفي الواقع فإنه كلما كانت المنظومة أعقد كلما كانت أنماط التأرجحات التي تهدد ثباتها أكثر. ولهذا السؤال كيف يمكن لمنظومات معقدة مثل البيئة أو المنظومات الإنسانية أن توجد؟ كيف تفعل لتفادي الشواش الدائم؟ إن التأثير المثبت للاتصال ولسيرورات الانتشار يمكن أن يكون جوابا جزئيا لهذه الأسئلة. في منظومات معقدة حيث تتفاعل الأنواع والأفراد ما بينها بطرق مختلفة فإن الانتشار والاتصال بين مختلف أجزاء المنظومة هي على الأرجح فعَّالة. هناك منافسة بين تثبيت بواسطة الاتصال ولاثبات من خلال التأرجحات. ونتيجة هذه المنافسة هي التي تحدد عتبة الثبات.

الثبات البنيوي

متى يمكننا البدء بالتكلم عن "التطور" بمفهومه الأصلي؟ كما رأينا تتطلب البنى المبددة شروطا بعيدة عن التوازن. ومع ذلك فإن معادلات تفاعل الانتشار تحوي معاملات يمكن أن تُرحَّل إلى شروط قريبة من التوازن. ويمكن للمنظومة أن تستكشف مخطط التفريع في الاتجاهين معا. وكذلك فإن

سائلا ما يمكن أن ينتقل من جريان صفحي laminar flow إلى اضطراب ويعود. لا يوجد نمط تطوري مُتضمَّن.

الوضع مختلف تماما لنماذج مُتضمِّنة حجم المنظومة كمعامل تفريع.فهنا ينتج النمو اللاعكوس الحاصل في الزمن تطورا لا عكوسا. ولكن تبقى هذه حالة خاصة حتى ولو كانت مناسبة لتطور تشكيل نشوئي.

أكان ذلك في تطور بيئي أم اجتماعي أم بيولوجي ،لا يمكننا أن نعتبر كمعطى أكان مجموعة محددة من الوحدات المتفاعلة أم مجموعة معينة لمتحولات لهذه الوحدات. وهكذا فإن تعريف المنظومة معرض للتحول بتطورها ذاته. وأبسط نوع لهذا النوع من التطور يتعلق بتصور الثبات البنيوي. إنه يتعلق برد فعل منظومة معطاة لإدخال وحدات جديدة قابلة لأن تتكاثر بمساهمتها في سيرورات المنظومة.

إن مسألة ثبات منظومة بوجه هذا النوع من التغيير يمكن أن تصاغ كالتالي: إن المكونات الجديدة المدخلة بكميات ضئيلة، تقود إلى مجموعة تفاعلات جديدة بين مكونات المنظومة. وهكذا فإن هذه المجموعة الجديدة من التفاعلات تدخل في تنافس مع نظام العمل السابق للمنظومة. إذا كانت المنظومة "ثابتة بنيويا" بالنسبة لهذا الإدخال فإن نظام العمل الجديد للمنظومة لن يكون قادرا أن يثبت نفسه "والمجددون" لن يستمروا في البقاء. أما إذا فرض التأرجح البنيوي نفسه بنجاح - إذا مثلا الحركية التي يقوم بها "المجددون" بالتكاثر بسرعة كافية لكي يتمكنوا من غزو المنظومة بدلا من أن يفنوا - فإن المنظومة ككل ستتبنى نظام عمل جديد : وإن فعاليتها ستكون محكومة "بعلم نحو" جديد.(٦)

أبسط مثال لهذا الوضع هو عشيرة من الجزيئات الكبيرة macromolecules المنتجة بالبلمرة داخل منظومة تغذى بمنوميراتmonomers: A وB. لنفترض أن عملية البلمرة محفزة ذاتيا - أي أن يستعمل بوليمر مركب سابقا كنموذج لتشكيل سلسلة لها نفس التتالي. هذا النوع من التركيب أسرع من تركيب لا يوجد فيه نموذج للنسخ. وكل نوع من البوليمرات مُوصَّفٌ بمتوالية خاصة توصفه من A وB، يمكن توصيفه بمجموعة من المعاملات تقيس سرعة تركيب النسخة التي تحفزها ، ودقة عملية النسخ، والعمر الوسطي للجزيء الكبير نفسه. ويمكن أن يُبَّينَ أنه تحت ظروف معينة فإن نوعا مفردا من البوليمير له متتالية لِنَقُلْ (ABABAB....) يسيطر على العشيرة، وتتحول البوليمرات الأخرى إلى مجرد " تأرجحات" بالنسبة إلى البوليمير الأولي. تظهر مسألة الثبات البنيوي في كل مرة حيث كنتيجة "لخطأ" في النسخ يظهر نوع جديد من البوليمير موصوف بمتوالية غير معروفة وبمجموعة جديدة من المعاملات في المنظومة ويبدأ هذا النوع في التكاثر منافسا الأنواع الأخرى المسيطرة للحصول على مونوميرات A وB. ونواجه هنا حالة ابتدائية لفكرة دارون في "بقاء الأصلح".

تشكل هذه الأفكار الأساس لنموذج تطور ما قبل بيولوجي والذي طوره ايجن Eigen ومساعدوه. يمكن الوصول إلى تفاصيل مناقشة آيجن في مكان آخر(٧). دعنا نؤكد باختصار أنه يبدو أن هناك نمط وحيد فقط من المنظومات التي يمكنها تفادي "الأخطاء" التي ترتكبها باستمرار عشيرة التحفيز الذاتي - منظومة بوليمير ذات بنية ثابتة لأي احتمال "لبوليمير طافر". هذه المنظومة مكونة من مجموعتين من جزيئات البوليمير. مجموعة جزيئات البوليمير الأول

هي من نوع "الحموض النووية"؛ كل جزيء قادر على تكثير ذاته ويتصرف كمحفز لجزيء من المجموعة الثانية التي هي من النوع البروتيني: كل جزيء من هذه المجموعة الثانية يحفز التكاثر الذاتي لجزيء من المجموعة الأولى. هذا الاشتراك في التحفيز بين جزيئات من المجموعتين يمكن أن يتحول إلى دورةcycle (كل حمض نووي يتكاثر ذاتيا بمساعدة "بروتين") وهكذا يصبح قادرا على البقاء بثبات ومحميا من التطور المستمر لبوليميرات جديدة لها كفاءة أعلى في التكاثر: وفي الواقع لا يمكن لأي شيء أن يتدخل في دورة النسخ الذاتي المشكلة من "بروتين" و"حموض نووية". وهكذا يمكن أن يبدأ تطور جديد بالنمو على هذا الأساس الثابت مبشرا بالشيفرة الوراثية.

إن مقترب آيجن هو بالتأكيد ذو أهمية كبيرة.والاصطفاء الدارويني للتكاثر الذاتي الأمين هو بالتأكيد مهم في بيئة باستطاعة محدودة. ولكننا نميل إلى الاعتقاد أن هذا ليس المظهر الوحيد المتضمن في تطور ما قبل بيولوجي. إن شروط "البعد عن التوازن" المتعلقة بكمية جريان حرجة للطاقة والمادة هي أيضا مهمة جدا ويبدو معقولا افتراض أن بعض المراحل الأولى متحركة نحو الحياة كانت متعلقة بتشكيل آليات قادرة على امتصاص وتحويل الطاقة الكيميائية بحيث تدفع بالمنظومة إلى شروط "البعد عن التوازن". وفي هذه المرحلة الحياة أو "ما قبل الحياة" ربما كانت مرققة diluted لدرجة أن الاصطفاء الدارويني لم يلعب الدور الأساسي الذي لعبه في المراحل التالية.

يركز معظم هذا الكتاب على العلاقة بين الصغري والجهري. إن إحدى أهم مسائل نظرية التطور هي التغذية الراجعة الأخيرة بين البنى الجهرية والحوادث الصغرية : ستقود البنى الجهرية الناتجة عن أحداث صغرية بدورها

إلى تعديل في الآليات الصغرية. ومن الغريب أنه في الوقت الحاضر الحالات الأكثر قابلية للفهم هي التي تتعلق بالحالات الاجتماعية. عندما نبني طريقا أو جسرا فإنه يمكننا التنبؤ بتأثير هذا على سلوك السكان وهذا بدوره يحدد التحولات الأخرى في أنماط الاتصالات في تلك المنطقة. تنتج هذه السيرورات المترابطة أوضاعا معقدة تحتاج إلى أن نفهمها قبل أي نوع من النمذجة modelization وهذا هو السبب في أن ما سنصفه الآن هو الحالات البسيطة جدا فقط.

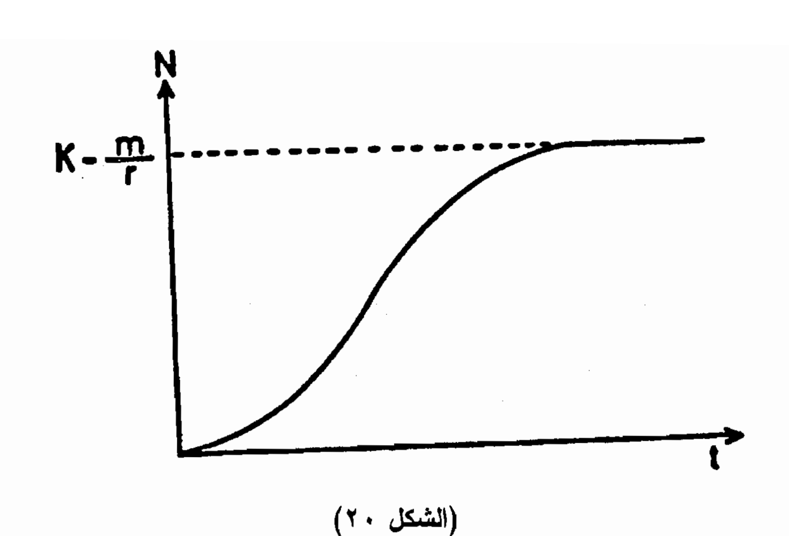
التطور اللوجستي (الإمدادي)

لمسألة الثبات البنيوي عدد كبير من التطبيقات في الحالات الاجتماعية. ولكن يجب التأكيد على أن هذه التطبيقات تتضمن تبسيطا جذريا لوضع معرف ببساطة بتعابير المنافسة بين سيرورات النسخ الذاتي في بيئة محدودة الموارد.

بيئيا فإن المعادلة الكلاسيكية لمسألة كهذه تدعى "بالمعادلة اللوجستية أو (الامدادية)". تُوصِّفُ هذه المعادلة تطور عشيرة حاوية على N فرد ومعتبرة معدل الولادة ومعدل الوفاة وكمية الموارد المتاحة لهذه العشيرة. ويمكننا كتابة هذه المعادلة على الشكل:

$$dN/dt = r`N(1-N/K)-mN$$

حيث (r) و(m) هي ثوابت خاصة للولادة والوفاة وK هي "استطاعة الحمل"carrying capacity للبيئة. مهما كانت القيمة الابتدائية لـــ N ومع الوقت فإن هذه المعادلة ستصل إلى قيمة حالة مستقرة N=K-m/r محددة بالفروق بين استطاعة الحمل ونسبة ثوابت الوفاة والولادة. وعندما يتم الوصول إلى هذه القيمة فإن البيئة تصبح مشبعة وعند أية لحظة يكون عدد الولادات يساوي عدد الوفيات.



(الشكل ٢٠)

تطور عشيرة N كدالة للزمن t حسب المنحني الامدادي. الحالة المستقرة N=٠ هي غير ثابتة بينما الحالة المستقرة N=K-m/r هي ثابتة بالنسبة للتأرجحات في N.

تخفي البساطة الظاهرة للمعادلة الامدادية إلى حد ما تعقيد الآليات المتضمنة. لقد ذكرنا سابقا تأثير الضجيج الخارجي مثلا. وهو هنا له معنى بسيط بشكل خاص. من الواضح أنه لو فقط بسبب التأرجحات الجوية فإن العوامل K وm وr لا يمكن أن تؤخذ على أنها ثوابت.ونحن نعلم أن تأرجحات كهذه يمكن أن تقلب تماما التوازن البيئي وأن تدفع بالعشيرة إلى الفناء. بالطبع فإنه كنتيجة ستنشأ سيرورات جديدة مثل تخزين الطعام وتشكيل مستعمرات جديدة وستتطور بحيث أن بعض تأثيرات التأرجحات الخارجية سيمكن تفاديها.

ولكن هناك ما هو أكثر من ذلك فبدلا من كتابة المعادلة الامدادية على أنها مستمرة زمنيا لنقارن العشيرة على فترات زمنية محددة (مثلا سنويا) يمكن كتابة هذه المعادلة :

$$N_{t+1} = N_t(1 + rK(1 - N_t / K))$$

N_t و N_{t+1} هي العشائر مفصولة بزمن قدره سنة كاملة (ونهمل هنا حد الموت). الخاصة المدهشة المذكورة من قبل ر. ماي R.May [٨]. هي أن معادلات كهذه بالرغم من بســـاطتها تقبل عددا كبيرا بصورة محيرة من الحلول. فلقيم معامل parameter $(0 \le r \le 2)$ لدينا كما في الحالة المســـتمرة اقتراب منتظم نحو توازن. ولقيم لـــ r أقل من ٢,٤٤٤ تحدث دورة حدية :يصبح لدينا الآن ســـلوكا دوريا بدور قدره سنتان، ويتبع هذا دور بأربعة وثمانية الخ من الدورات الســـنوية،حتى نصل إلى سلوك لا يمكن وصفه إلا بأنه شواش (إذا كانت r أكبر من ٢,٥٧) وهنا يتم التحول إلى شواش كما هو موصوف في الفصل الخامس. هل يحدث هذا الشواش في الطبيعة؟ تظهر الدراسات الحديثة[٩]. أن المعاملات الموصِّفة للعشـــائر الطبيعية تحفظها من مناطق الشواش. لماذا هذا؟ هنا تنشأ مسائل ممتعة بســـبب تشابك مسائل التطور مع الرياضيات الناتجة عن المحاكاة الحاسوبية.

لقد اتخذنا حتى الآن وجهة نظر سكونية. لننتقل الآن إلى آليات حيث المعاملات K و r و m يمكن أن تتغير خلال التطور البيولوجي والبيئي.

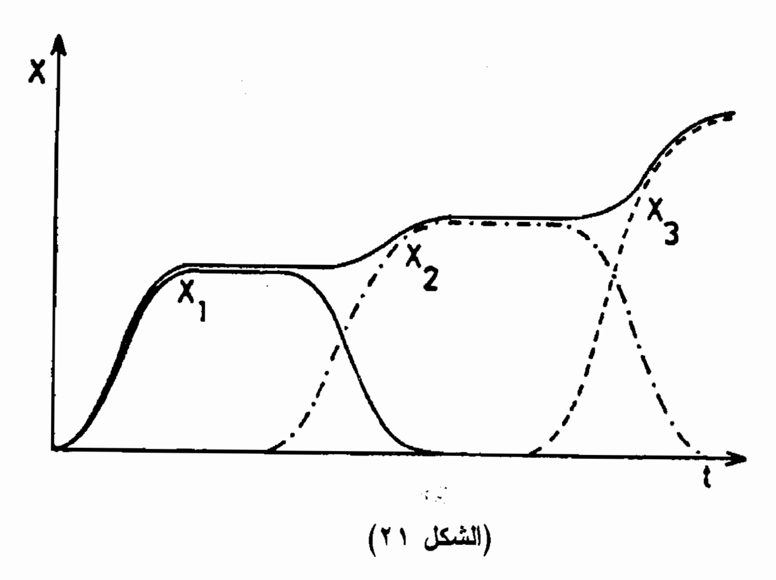
علينا أن نتوقع أنه خلال التطور ستتغير قيم المعاملات البيئية K و r و m (كذلك العديد من المعاملات والمتحوَلات الأخرى أكان يمكن قياسها كميا أم لا). إن المجتمعات الحية تقدم باستمرار طرقا جديدة في استغلال الموارد وفي اكتشاف موارد أخرى جديدة (أي أن K تتزايد) وتكتشف باستمرار طرقا جديدة في إطالة حياتها أو تكاثر بسرعة أكبر. وهكذا فإن كل توازن بيئي محدد بمعادلة امدادية هو توازن مؤقت وكل مشكاة niche

محددة إمداديا سيتم احتلالها بنجاح من قبل سلسلة من الأنواع كل واحد منها قادر على طرد النوع السابق عندما تصبح "كفاءته" لاستغلال المشكاة كما هي مقاسه بالكمية K-m/r أكبر. (أنظر الشكل ٢١) وهكذا فإن المعادلة الامدادية تقود إلى تعريف وضع بسيط جدا حيث يمكننا أن نضع صيغة كمية لفكرة دارون "بقاء الأصلح"، "الأصلح" هو النوع الذي لأجله في زمن معين الكمية K-m/r هي الأكبر.

ومع أن المسألة كما تصفها المعادلة الامدادية مقيدة جدا، إلا أنها تقود إلى أمثلة مذهلة لإبداع الطبيعة.

لنأخذ مثالا الديدان التي يجب أن تبقى غير ملحوظة لأن حركتها بطيئة جدا تجعل الهرب مستحيلا.

ولذلك فإن تطوير إستراتيجيات مثل استعمال السم والشعيرات والحسكات المؤذية وكذلك الاســتعراضات المفزعة هي فعالة جدا في إبعاد الطيور والمفترسات الأخرى المحتملة. ولكن كل هذه الإستراتيجيات ليست فعالة ضد كل المفترسات ولا في كل الأوقات وخاصة إذا كان المفترس جائعا بكفاية. وتبقى الإستراتيجية المثالية مستحيلة المنال. وتقترب بعض الديدان من هذه المثالية وإن تنوع وتعقد الاستراتيجيات المستعملة من مئات من الأنواع من الحشرات قشرية الأجنحة lepidopteran لكي تبقى غير ملحوظة تذكر بأقوال عالم الطبيعة في القرن التاسع عشر لويس أغاسيLouis Agassiz "إن إمكانيات الوجود تجري بعمق حتى الإفراط لدرجة أنه لا يوجد تقريبا أي تصور مهما كان غريبا لا تحققه الطبيعة"[١٠].



(الشكل ٢١)

تتطور عشيرة كاملة X كدالة للزمن. العشيرة مكونة من أنواع X_1 و X_2 ، X_3والتي تظهر بالترتيب وهي مّوصَّفة بقيم متزايدة لـــ K- m/r (أنظر النص)

لا نستطيع مقاومة ذكر مثال قدمه ميلتون لوف Milton Love[١١] إن على ترماتود كبد الخروفsheep liver trematode[•] الانتقال من النمل إلى خروف،حيث تتكاثر هناك. إن احتمالات أن يبتلع خروف نملة مصابة هي ضئيلة جدا، ولكن النملة تتصرف بطريقة غريبة: إنها تبدأ بتكبير إمكانية مقابلتها لخروف. وهكذا فالترماتود عمليا "اختطفت جسد" عائلها. وهي قد حفرت في دماغ النملة مجبرة ضحيتها بأن تتصرف بطريقة انتحارية : فالنملة المسكونة بدلا من أن تبقى على الأرض،تتسلق حافة ورقة العشب إلى قمتها وتقبع هناك منتظرة الخروف. هذا حقا هو حل "ذكي" بشكل لا يصدق لمشكلة المتطفل. وتبقى الأحجية كيف تم انتقاء هذا الحل؟

(•) نوع من الديدان الشريطية التطفلية .

يمكن البحث في أوضاع أخرى في التطور البيولوجي باستعمال نماذج مشابهة للمعادلة الإمدادية. مثلا من الممكن حساب شروط التنافس بين الأنواع التي يمكن أن تكون ملائمة لجزء من العشيرة لأن تتخصص في فعاليات شبه حربية وغير منتجة (مثلا الجنود لدى الحشرات الاجتماعية). وأيضا يمكننا تحديد نوع البيئة التي فيها نوع ما أصبح متخصصا، والذي بتضييق موارده الغذائية يمكنه أن يحافظ على بقائه بسهولة أكبر من نوع آخر غير متخصص والذي يستهلك موارد غذائية ذات مجال أوسع[١٢]، ولكننا هنا نقترب من مسائل مختلفة جدا والتي تتعلق بتنظيمات لعشائر متمايزة داخليا. من الضروري التمييز بوضوح إذا أردنا تحاشي التشوش. في العشائر حيث الأفراد لا يمكن مبادلتها والتي كل من أفرادها له ذاكرته وشخصيته وتجربته الخاصة والذي يُتطَّلب منه لعب دور فردي فإن مناسبة المعادلة الامدادية أو عموما أية محاكمة reasoning داروينية مبسطة هي نسبية تماما.سنعود إلى هذه المسألة لاحقا.

من المهم أن نلحظ أن نوع المنحني في الشكل ٢١ والذي يُظهِر تتالي القمم المحددة بعائلة من المعادلة الامدادية مع تزايد في (K-m/r) قد استعمل لوصف تضاعف بعض العمليات التقنية أو النواتج. وهنا أيضا فإن اكتشاف أو إدخال تقنية جديدة أو مادة ما يكسر نوعا ما من التوازن الاجتماعي أو التقني أو الاقتصادي. هذا التوازن سيقابل القمة الأعظمية التي يصل إليها منحني النمو للتقنيات أو النواتج التي على التجديد أن ينافسها والتي تلعب دورا مشابها للوضع الموصوف بالمعادلة[١٣]. وهكذا

لاختبار مثال واحد فقط فإن انتشار السفن البخارية لم يعد فقط إلى اختفاء معظم السفن الشراعية ولكن لإنقاص تكلفة النقل ولزيادة سرعته اللذان سببا زيادة في الطلب على النقل البحري (" K") وبالتالي إلى تزايد عشيرة السفن. بالطبع إننا هنا نمثل وضعا بالغ البساطة من المفترض أنه محكوم بمنطق اقتصادي بحت. وفي الواقع فإن التجديد في هذه الحالة، ولو أنه بطريقة مختلفة يبدو فقط يشبع حاجة موجودة سابقا والتي تبقى غير متغيرة. إلا أنه في البيئة كما في المجتمعات الإنسانية فإن الكثير من التجديدات هي ناجحة دون تواجد سابق" لمشكاة" (niche). تحول هذه التجديدات البيئة التي تظهر فيها وعندما تنتشر فإنها تخلق الشروط الضرورية لتضاعفها و"لمشكاتها". في الأوضاع الاجتماعية خاصة فإن خلق "طلب" وحتى "الحاجة" لتلبية هذا الطلب تظهر غالبا متعلقة بإنتاج البضائع أو التقنية التي تلبي هذا الطلب.

التغذية الراجعة التطورية

الخطوة الأولى لتعليل هذا البعد dimension من السيرورة التطورية يمكن تحقيقها بجعل "استطاعة الحمل"carrying capacity لمنظومة ما وظيفة للطريقة التي يتم بها استعمالها بدلا من أخذها كمعطى.

وبهذه الطريقة يمكن أن تمثل أبعادا أخرى إضافية للفعاليات الاقتصادية وبالأخص "تأثيرات التضاعف" multiplying effects. وبهذا يمكننا توصيف الخواص المتسارعة ذاتيا في منظومات والتمايز differentiation الفراغي بين مستويات مختلفة من الفعالية.

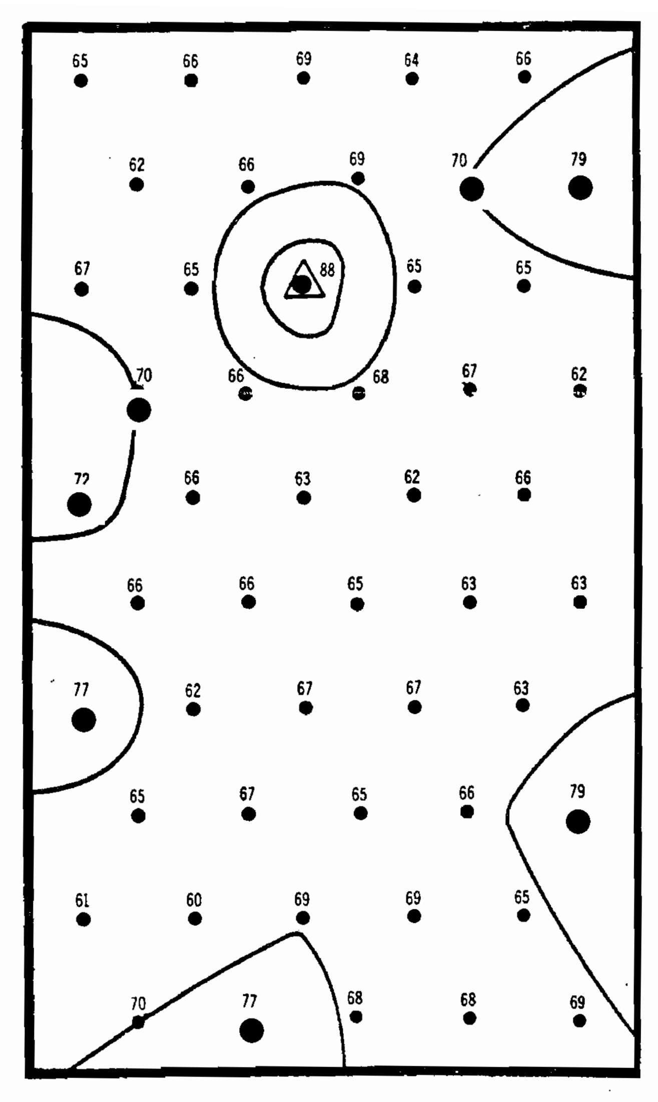
ولقد كون الجغرافيون سابقا نموذجا يربط بين هذه السيرورات وهو نموذج كريستالر Christaller الذي يحدد أفضل توزيع جغرافي لمراكز الفعالية الاقتصادية. فالمراكز المهمة ستكون على تقاطع شبكة سداسية وكل مركز محاط بحلقة من المدن بحجم أصغر وكل واحدة الخ....ومن الواضح أنه في الحالات الفعلية فإن ترتيبا ذا توزع تراتبي منتظم hierarchical هو نادر جدا: وتكثر العوامل التاريخية والسياسية والجغرافية الكاسرة للتناظر الفراغي. ولكن هناك ما هو أكثر من ذلك. حتى لو استثنينا كل المنابع الهامة للتقدم اللاتناظري وبدأنا من فراغ اقتصادي وجغرافي متجانس، فإن نمذجة نشوء توزيع كما وصف كريستالر تؤكد على أن نوع الأمثلية السكونية static optimalization الذي يُوصِّفه يُكَوِّنُ احتمالا ولكنه غير ممكن كنتيجة سيرورة.

يظهر النموذج موضوع السؤال[١٤] مراحل المجموعة الأصغرية فقط للمتحولات المتضَّمنة في حساب كحساب كريستالر. يتم تركيب مجموعة معادلات تُوسِع معادلات الإمداد بدءا من الفرض الأساسي أن العشائر تميل إلى الهجرة كوظيفة للمستويات المحلية للفعالية الاقتصادية، التي بهذا تحدد نوعا من "استطاعة الحمل" المحلية وهنا هي مختزلة إلى استطاعة "توظيف" employment. ولكن العشيرة المحلية هي أيضا مستهلك ممكن لبضائع منتجة محليا.ولدينا هنا في الواقع تغذية راجعة موجبة ومزدوجة وتدعى " المضاعف المديني " urban multiplier لنمو محلي :العشيرة المحلية والبناء الفوقي الاقتصادي المُنتَج بمستوى الفعالية التي تم الوصول إليها،كلاهما يسرِّعان في زيادة هذه الفعالية. ولكن كل

مستوى محلي من الفعالية هو أيضاً محدد بالتنافس مع مراكز للفعالية مشابهة متوضِّعة في مكان آخر. إن بيع بضائع منتجة أو خدمات يعتمد على كلفة نقلها إلى المستهلكين وعلى حجم "المشروع". إن توسع كل مشروع كهذا يعتمد على الطلب الذي يساعد التوسع ذاته في تكوينه والذي ينافس لأجله. وهكذا فإن نمو العشيرة وفعاليات التصنيع والخدمات هي مرتبطة بتغذية راجعة قوية وبلاخطيات.

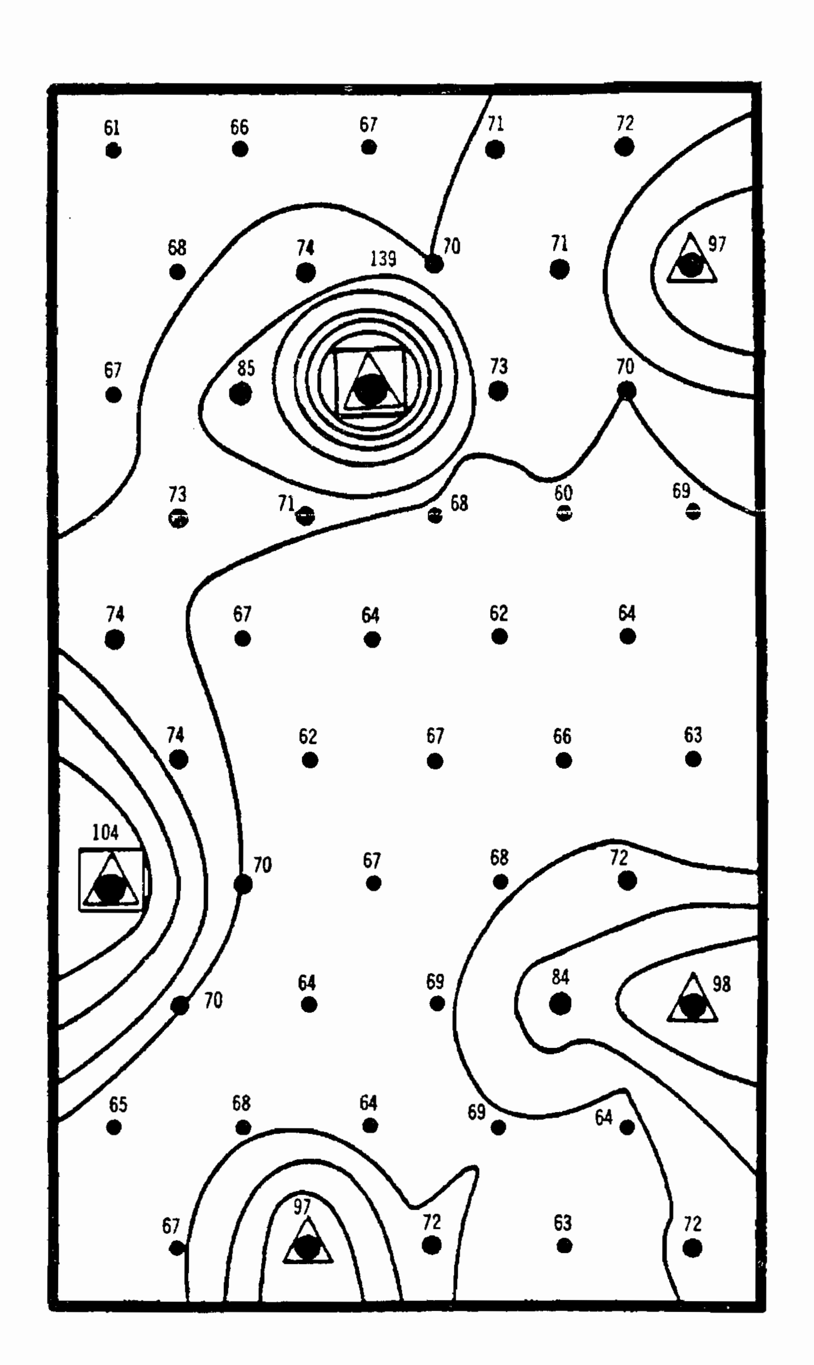
يبدأ النموذج بحالة ابتدائية افتراضية، حيث يوجد "المستوى ١" للفعالية (ريفية) في نقاط مختلفة؛ ثم يسمح لنا (النموذج) باتباع انطلاقات متتالية مقابلة لمستويات "أعلى" في تدرجات كريستالر - أي متضمناً تصديراً على مقياس واسع. وحتى إذا كانت الحالة الابتدائية متجانسة تماماً، فإن النموذج يظهر أن مجرد تلاعب عوامل مصادفة - عوامل غير مضبوطة من النموذج، مثل زمان ومكان بدء مشاريع جديدة - كافية لإنتاج كسورات في التناظر: ظهور مناطق تمركز كبير للفعالية بينما مناطق أخرى تتحمل آلام تخفيض في الفعالية الاقتصادية وبهذا تصبح قليلة السكان وتظهر المحاكاة الحاسوبية المختلفة النمو والتحلل والسلب والسيطرة وفترات من ظروف مؤاتية لتطورات متناوبة متبوعة بتصلب البنى المسيطرة المتواجدة.

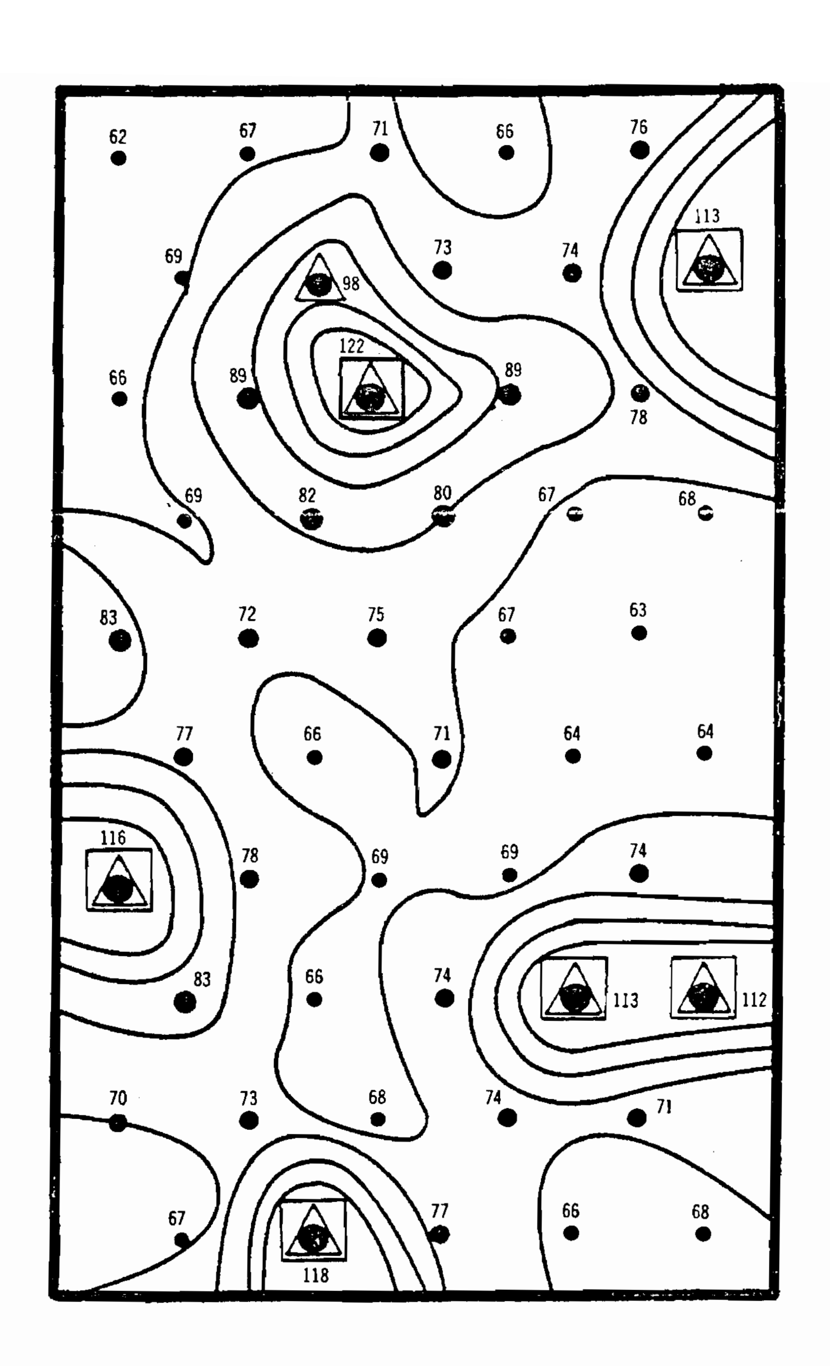
وبينما يتجاهل توزيع كريستالر المتناظر التاريخ، فإن هذا السيناريو يأخذه بالحسبان، على الأقل بمعنى صغير جداً، على أنه تلاعب بين "قوانين"في هذه الحالة من طبيعة اقتصادية بحتة، و"مصادفة" تتحكم في سلسلة الانطلاقات sequence of launchings.

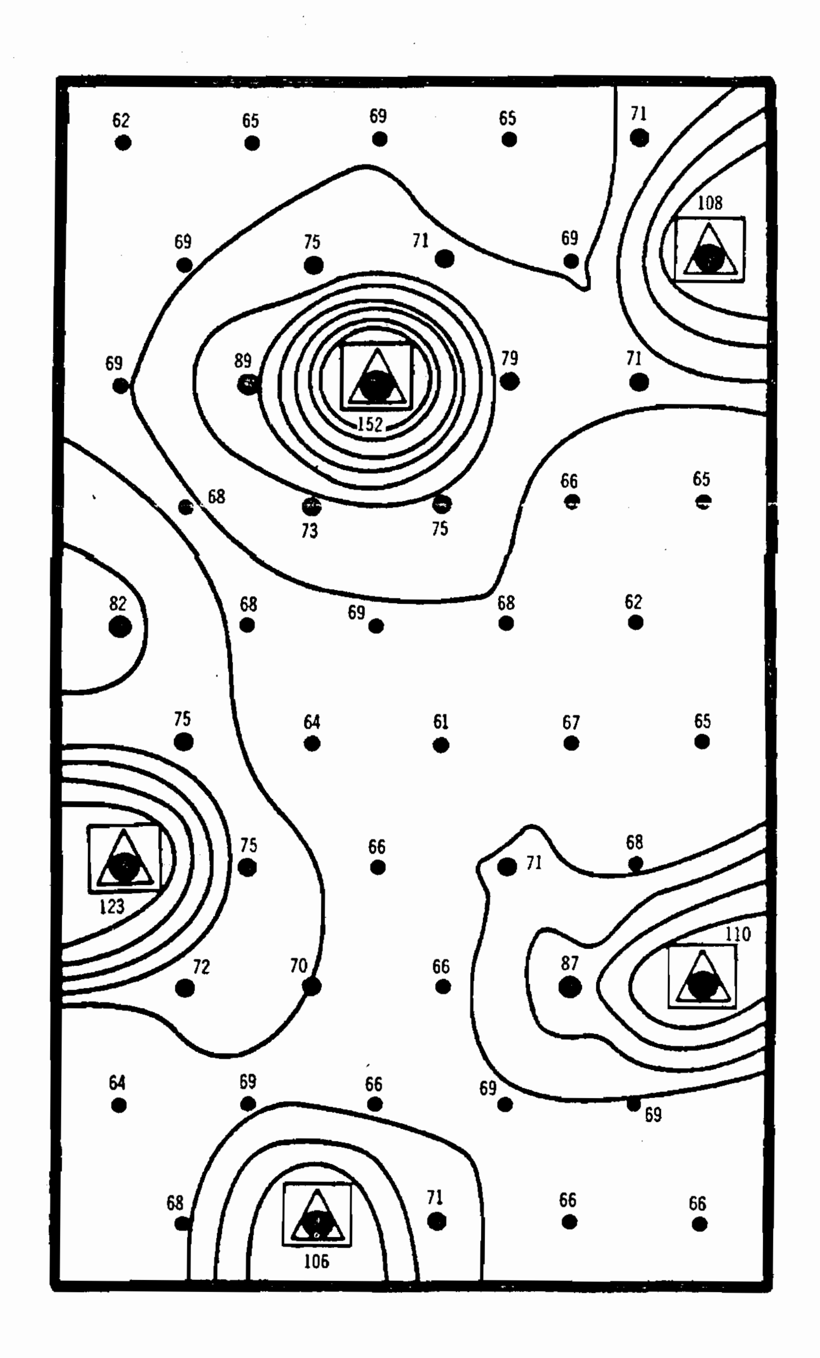


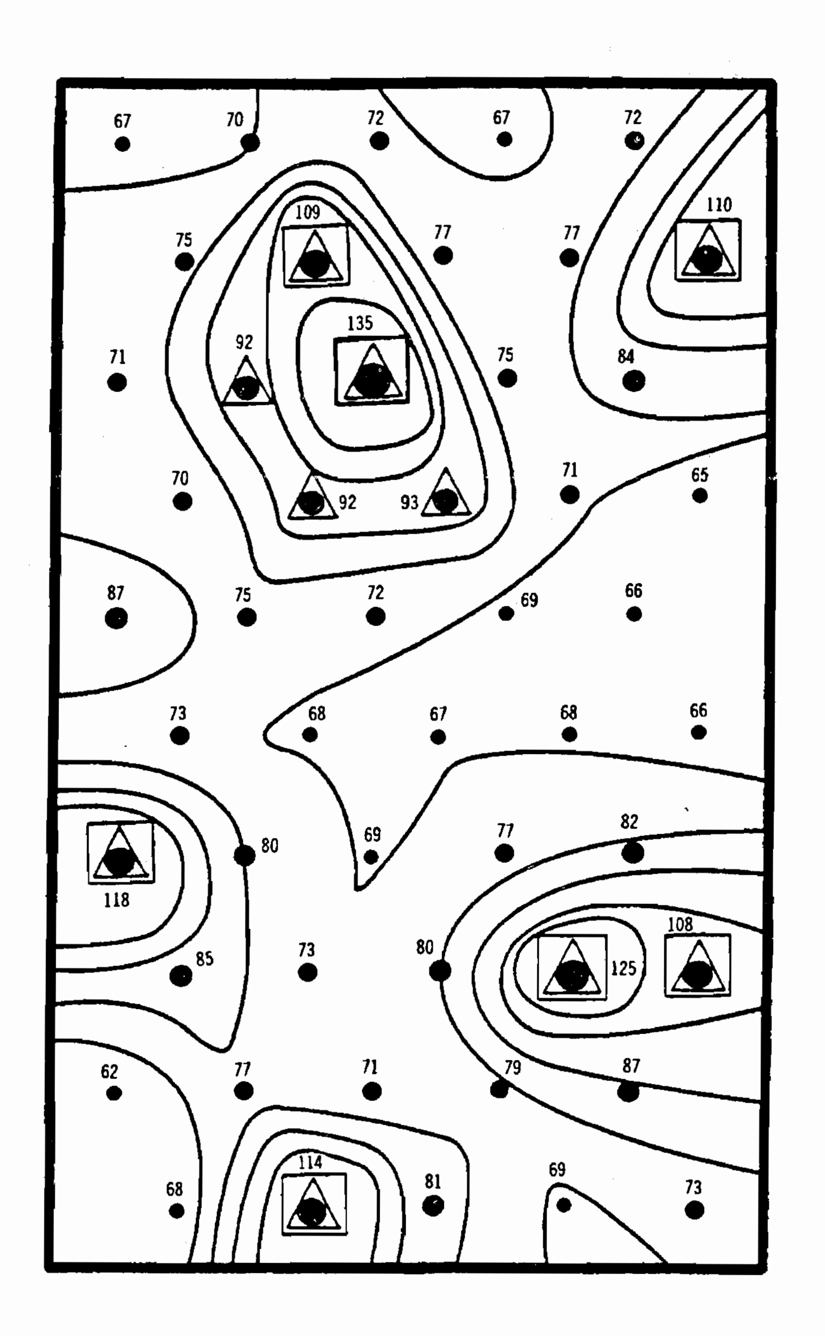
(الشكل ٢٢)

تاريخ محتمل "للمدينية " (•) لها وظيفة ١؛ ( ) لها وظيفتان ١ و٢ ؛ (●) لها ثلاث وظائف ١ و٢ و٣ ؛ (◬) هي المراكز الأكبر بوظائف ١و ٢ و٣ و٤. عند t=٠ (ليست ممثلة) ، كل النقاط لها " سكان " من ٦٧. وفي (C) ، المركز الأكبر يمر في نهاية عظمى (١٥٢ وحدة سكانية)؛ وهذا متبوع " امتداد مديني " مع تكوين مدن تابعة؛ وهذا يحدث حول المركز الثاني الرئيسي.


61
66
67
71
72
68
74
139
70
71
97
67
85
73
70
73
71
68
60
69
74
67
64
62
64
74
62
67
66
63
104
70
67
68
72
64
69
84
98
70
65
68
64
69
64
97
67
72
63
72


62
67
71
66
76
113
69
73
74
98
122
66
89
89
78
69
82
80
67
68
83
72
75
67
63
77
66
71
64
64
116
78
69
69
74
83
66
74
113
112
70
73
68
74
71
67
77
66
68
118


62 65 69 65 71
108
69 75 71 69
69 89 79 71
152
66 65
68 73 75
82 68 69 68 62
75 64 61 67 65
75 66 71 68
123
110
72 70 66 87
64 69 66 69 69
68 71 66 66
106


67
70
72
67
72
109
75
77
77
110
135
92
71
75
84
70
92
93
71
65
87
75
72
69
66
73
68
67
68
66
82
80
69
77
118
108
85
73
80
125
62
77
71
79
87
114
68
81
69
73

نمذجة التعقيد

بالرغم من بساطته ينجح نموذجنا في إظهار بعض خواص التطور في منظومات معقدة وخاصة الصعوبة في "التحكم" في تطور معين بعناصر متعددة متفاعلة. إن كل فعل فردي أو كل تدخل محلي له مظهر جمعي collective الذي يمكن أن يُحدِثَ تغيرات شاملة غير متوقعة. وكما أكد وادينغتون Waddington لا نفهم حاليا إلا قليلا كيف يمكن لمنظومات معقدة أن تستجيب لتغير معطى. وكثيرا ما تكون هذه الاستجابة عكس حدسنا. ولقد أُدخِلَ التعبير "عكس الحدس" counterintuitive في الـــ MIT للتعبير عن إحباطنا : "هذا الشيء اللعين لا يعمل كما يجب أن يعمل !". لنأخذ مثالا كلاسيكيا ذكره وادينغتون فإن برنامج إزالة حارات الصفيح ينتج عنها وضع أسوأ من السابق. تجتذب أبنية جديدة عددا أكبر من الناس إلى المنطقة ولكن إذا لم يكن هناك عمل لهم، فإنهم يبقون فقراء وتصبح مساكنهم أكثر ازدحاما [١٥]. لقد تدربنا على التفكير بحدود السببية الخطية ولكننا بحاجة إلى "أدوات تفكير" جديدة : أحد أهم فوائد النماذج هو بالضبط مساعدتنا على اكتشاف هذه الأدوات وتَعلّمِنا على كيفية استعمالها.

كما أكدنا سابقا فإن المعادلات الامدادية هي الأكثر مناسبة عندما يكون البعد الحاسم هو نمو العشيرة أكانت عشيرة حيوانات أو فعاليات أو عادات. ما هو مفترض مسبقا هو أن كل عضو في هذه العشيرة المعطاة يمكن أخذه على أنه معادل لأي عضو آخر. ولكن يمكن رؤية هذا التعادل العام ليس على أنه واقعة عامة بسيطة ولكن على أنه تقريب، الذي تعتمد صحته على الضوابط والضغوط التي تتعرض لها العشيرة وعلى الإستراتيجية التي استعملتها للتعامل معها.

لنأخذ مثلا التمييز الذي اقترحه علماء البيئة بين الإستراتيجيات K وr. وتشير K وr إلى معاملات في معادلات الإمداد. ومع أن هذا التمييز هو

نسبي فقط، فإنه واضح بصورة خاصة عندما يُوصِّفُ التباعد الناتج عن تفاعل منهجي بين عشيرتين وخاصة التفاعل فريسة- مفترس. من هذا المنظور فإن التطور النمطي لعشيرة الفريسة سيكون زيادة في معدل التكاثر reproduction rate ، r. وسيتطور المفترس نحو طرق أكثر فعالية في اصطياد الفريسة - أي نحو تحسين في K. ولكن هذا التحسن، المعرف في الإطار الامدادي، قابل لأن يكون له نتائج تتجاوز الأوضاع المحددة بمعادلات إمداد.

وكما لاحظ ستيفن غولد Stephen J. Gould [١٦] فإن إستراتيجية K تتضمن أفرادا يصبحون قادرين أكثر فأكثر على التعلم من التجربة وعلى اختزان ذكريات - أي أفرادا أعقد ذوي فترة نضج وتعلم أطول. وهذا بدوره يعني أفرادا "أكثر قيمة" يمثلون استثمارا بيولوجيا أكبر - وموصَّفًا بفترة أطول من قابلية العطب. وهكذا فإن تطور الروابط "الاجتماعية" و"العائلية" تبدو المقابل المنطقي لإستراتيجية (K). ومن تلك النقطة فإن عوامل أخرى بجانب عدد أفراد العشيرة فقط تصبح أكثر فأكثر مناسبة والمعادلة الامدادية التي تقيس النجاح بعدد الأفراد تصبح مضللة. لدينا هنا مثالا خاصا لما يجعل النمذجة خطرة. تعريف الكيانات في المنظومات المعقدة والتفاعل بينها كليهما يمكن أن يتحولا بالتطور. ليس فقط كل حالة لمنظومة ولكن أيضا تعريف المنظومة ذاته كما هو منمذج عموما غير ثابت أو على الأقل ما بعد الثابتmetastable.

نصل إلى مسائل حيث لا يمكن الفصل بين المنهجية methodology وبين السؤال عن طبيعة الشيء المبحوث. لا يمكننا إعادة ذات الأسئلة عن عشيرة من الذباب التي تتكاثر وتموت بالملايين دون أن تتعلم أو توسع تجربتها وعن عشيرة من الرئيسيات حيث كل فرد هو تشابك بين تجاربه الخاصة وتراث العشيرة التي يعيش وسطها.

ونجد أيضا أنه في علم الانتروبولوجية ذاته فإن خيارات أساسية يجب أن تتم بين مختلف المقاربات للظواهر الجمعية. من المعروف جيدا مثلا أن الانتروبولوجية البنيوية تحابي تلك المظاهر للمجتمع حيث يمكن استعمال أدوات المنطق والرياضيات المحدودة، مظاهر مثل البنى الابتدائية للقرابة أو تحليل الأساطير التي كثيرا ما تقارن تحولاتها بالنمو البلوري.يتم حساب وتركيب عناصر منفصلة. يتعارض هذا مع مقاربات تحلل التطور بحدود سيرورات حاوية لعشائر كبيرة شواشية جزئيا. إننا نتعامل مع منظورين مختلفين ونمطين من النماذج: ويعرفهما ليفي شتراوس Levi-Stauss بالتتابع "الميكانيكي" و"الإحصائي". في النموذج الميكانيكي "العناصر هي من نفس مقياس الظواهر"، والسلوك الفردي مبني على وصفات تشير إلى التنظيم البنيوي للمجتمع. يجعل عالم الأنثروبولوجية منطق هذا السلوك واضحا. بينما يعمل عالم الاجتماع من جهة أخرى على نماذج إحصائية لعشائر كبيرة ويحدد المتوسطات averages والعتبات thresholds(١٧).

إن مجتمعا محددا تماما بحدود نموذج وظيفي يقابل الفكرة الأرسطية عن الهرمية التراتبية hierarchy والنظام. فكل موظف سيقوم بواجباته التي وظف لأجلها. وهذه الواجبات ستترجم على كل مستوى المظاهرالمختلفة لتنظيم المجتمع ككل. يعطي الملك الأوامر للمعماري والمعماري للمتعهد والمتعهد للعمال. في كل مكان عقل سائد يوجه. وعلى العكس تبدو حشرات العث ومجتمعات حشرية أخرى وكأنها تقترب من نموذج "إحصائي". وكما رأينا لا يبدو أن هناك عقلا سائدا خلف بناء عش حشرات العث، عندما تنتج تفاعلات بين أفراد بعض أنماط السلوك الجمعي في بعض الظروف، ولكن هذه التفاعلات لا تشير إلى عمل إجمالي بل إلى عمل محلي بحت. وإن توصيفا كهذا يتضمن حتما متوسطات averages ويعيد إدخال مسألة الثبات والتفريع.

أي الحوادث تتراجع وأيها من المحتمل أن يؤثر على كامل المنظومة؟ ما هي الأوضاع المختارة، وما هي أنظمة الثبات؟ حيث أن حجم أو كثافة المنظومة يمكن أن يلعب دور معامل تفريع، كيف يمكن لنمو كمي بحت أن يقود إلى خيارات كيفية جديدة؟ في الحقيقة إن أسئلة كهذه تستدعي برنامجا طموحا. كما في استراتيجيات r وK فإنها تقودنا لربط اختيار نموذج "جيد" للسلوك الاجتماعي مع التاريخ. كيف يقود تطور عشيرة لأن تصبح أكثر "ميكانيكية"؟ يبدو هذا السؤال موازيا للأسئلة التي قابلناها سابقا في البيولوجيا. مثلا كيف يحابي اختيار المعلومات الوراثية الحاكمة لمعدلات وقواعد التفاعلات الاستقلابية، بعض المسارات إلى الدرجة التي يبدو فيها التطور ذا هدف أو كمترجم "لرسالة"؟

إننا نعتقد أن النماذج التي استوحت تصور "النظام من خلال التأرجحات" ستساعدنا في هذه الأسئلة وحتى أن تسمح لنا في بعض الظروف أن نعطي صياغة أدق للتناغم المعقد بين مظاهر سلوك الفرد والجماعة. يتضمن هذا من وجهة نظر الفيزيائي تمييزا بين حالات المنظومة التي فيها كل مجهود فردي محكوم عليه باللاجدوى من جهة ومن جهة أخرى فإن مناطق التفريع حيث يمكن فيها لفرد أو لفكرة أو لأي سلوك جديد أن يقلب الحالة كليا. وحتى في هذه المناطق فإن التكبير كما هو واضح لا يحدث لأي فرد أو فكرة أو سلوك، ولكن لأولئك "الخطرين"- أي لأولئك الذين يمكنهم استغلال العلاقات اللاخطية الضامنة لثبات النظام السابق لمصلحتهم. وهكذا نقاد لأن نستنتج أن ***ذات*** اللاخطيات يمكن أن تنتج نظاما من الشواش في السيرورات الابتدائية ومع ذلك فإنها تحت ظروف مختلفة يمكن أن تكون مسؤولة عن تهديم نفس هذا النظام منتجة في الأخير اتساقا جديدا وراء تفريع آخر.

تقدم نماذج "نظام من خلال التأرجحات" عالما غير ثابت وحيث مسببات صغيرة يمكن أن بكون لها تأثيرات كبيرة، ولكن هذا العالم ليس عشوائيا. على العكس فإن أسباب تكبير حدث صغير هي موضوع شرعي للتساؤل العقلاني. لا تسبب التأرجحات تحولا في فعالية المنظومة. ولنستعمل صورة منتقاة من ماكسويل لتوضيح ذلك، إن عود الثقاب يمكن أن يكون مسؤولا عن حريق الغابة، ولكن الإشارة إلى عود الثقاب لا تكفي لفهم النار. بالإضافة إلى ذلك واقع أن تأرجحا ما يتفادى التحكم لا يعني أنه لا يمكننا الوصول إلى أسباب اللاثبات التي يسببها تكبير هذه التأرجحات.

عالم مفتوح

بسبب من تعقيد الأسئلة المطروحة هنا لا يمكننا تحاشي الإقرار أن الطريقة التي تم بها تراثيا تأويل التطور البيولوجي والاجتماعي تمثل استعمالا سيئا بشكل خاص لتصورات وطرائق استعيرت من الفيزياء [١٨] – سيء لأن مجال الفيزياء حيث تصح فيها هذه التصورات والطرائق كان محددا جدا ولذلك فإن المشابهات بينها وبين الظواهر الاجتماعية والاقتصادية غير مبررة إطلاقا.

أول مثال من هذا النوع هو أنموذج الأمثلة optimization paradigm. من الواضح أن إدارة المجتمع الإنساني كذلك الضغوط الانتقائية تميل إلى أمثلة optimize بعض مظاهر السلوك أو أنماط الارتباط ولكن اعتبار مقياس القيم المثلى على أنه المفتاح لفهم كيف تستمر العشائر والأفراد في البقاء يوقعنا في خطر الخلط ما بين الأسباب والنتائج.

وتتجاهل نماذج الأمثلة optimization إمكانية التحولات الجذرية أي التحولات التي تغير تعريف المسألة وبهذا نوع الجواب المطلوب – وضوابط القصور الذاتي التي يمكن في النهاية أن تجبر المنظومة على سلوك طريقة كارثية في العمل. أمثلة على نظريات كهذه يد آدم سميث Adam Smith (•) غير المرئية أو تعريفات أخرى للتقدم بعبارات بمقاييس التكبير للقيم الكبرى والتصغير_للقيم الصغرى، وهذا يعطي تمثيلا مطمئنا للطبيعة على أنها آلة حاسبة عقلانية وكلية القدرة، ولتاريخ متسق موصوف بتقدم شامل. لإعادة العطالة وإمكانية حوادث غير متوقعة – أي إعادة الخاصية الانفتاحية للتاريخ – يجب تقبل ارتيابه الأساسي. وهنا يمكن أن نستعمل كرمز الصفة الطارئة للانقراض الكبير في العصر الطباشيري (الكريتاسي) والذي فتح الطريق لتطور الثدييات، مجموعة صغيرة من الحيوانات الفئرانية (١٩).

كان هذا تقديما عاما نوعا من "منظور عين النسر" ولهذا فلقد تم إغفال مواضيع عديدة هامة: مثلا شعلات، وبلاسما وليزرات لا توازنا غير ثابت ذا أهمية نظرية وعملية. حيثما نظرنا نرى طبيعة غنية بالتنوع والتجديد. ويتَوضَّعُ التطور التصوري ذاته الذي وصفنَّاه في تاريخ أوسع، وهو في تقدم متنام في إعادة اكتشاف الزمن.

لقد رأينا مظاهر جديدة للزمن تدمج بالتدريج في الفيزياء، بينما يتم التخلي تدريجيا عن الطموحات المترسخة في العلم الكلاسيكي في علم شامل لكل شيء. لقد تحركنا في هذا الفصل من الفيزياء إلى البيولوجيا وإلى علم

(•) يد آدم سميث : لقد تكلم عن يد خفية غير مرئية تدفع ببعض الشخصيات لأن تسعى لصالح المجتمع . المترجم

البيئة والمجتمع الإنساني، وكان من الممكن أن نقوم بهذا في الاتجاه المعاكس. في الواقع بدأ التاريخ بالتركيز بشكل أساسي على المجتمعات الإنسانية ومن بعد ذلك تم الاهتمام بالأبعاد الزمنية للحياة وللجيولوجية. وهكذا يبدو إدماج الزمن في الفيزياء وكأنه المرحلة الأخيرة لأي إعادة إدخال للتاريخ بشكل تدريجي في العلوم الطبيعية والاجتماعية.

ومن الغرابة أنه في كل مرحلة من هذه السيرورة فإن مظهرا حاسما لهذا "التأريخ" كان اكتشاف بعضٍ من اللاتجنسات الزمنية. اتصل المجتمع الغربي منذ عصر النهضة بعشائر مختلفة كان ينظر إليها على أنها تقابل مراحل مختلفة من التطور؛ وتعلَّمت بيولوجية وجيولوجية القرن التاسع عشر أن تكتشف وأن تُصنِّف المستحاثات وأن تَتَعرَّف في مناظر الطبيعة landscapes على ذكريات ماض نتعايش معه؛ وأخيرا فإن فيزياء القرن العشرين اكتشفت أيضا نوعا من المستحاثات وهو شعاع الجسم الأسود المتبقي الذي يخبرنا عن بداية الكون. ونحن نعلم اليوم أننا نعيش في عالم تتشابك فيه أزمنة مختلفة وتتواجد مستحاثات مواض (ج ماضي) مختلفة.

يجب علينا أن ننتقل الآن إلى سؤال آخر. لقد قلنا أن الحياة قد بدأت تظهر "طبيعية مثل جسم ساقط". ما هي علاقة سيرورة طبيعية من التنظيم الذاتي بجسم ساقط؟ ما هي الصلة الممكنة ما بين الديناميك وهو علم القوى والمسارات وبين علم التعقيد والصيرورة becoming، علم السيرورات الحية والتطور الطبيعي التي هي جزء منه؟ كان ينظر في نهاية القرن التاسع عشر إلى اللاعكوسية على أنها متعلقة بالاحتكاك واللزوجة والتسخين. اللاعكوسة هي في أصل ضياع الطاقة وتلفها. كان من الممكن في ذلك الوقت أن نساهم

في أسطورة أن اللاعكوسية هي نتيجة لعدم استطاعتنا ولعدم تطور آلاتنا، وأن الطبيعة تبقى أساسا عكوسة. ولكن هذا لم يعد ممكنا الآن : الآن وحتى الفيزياء تخبرنا أن السيرورات اللاعكوسة تلعب دورا بنَّاءً ولا غنى عنه.

وهكذا نصل إلى سؤال لم يعد من الممكن تحاشيه. ما هي العلاقة بين هذا العلم الجديد للتعقيد وعلم السلوك الابتدائي البسيط؟ ما هي العلاقة ما بين هذين المنظورين المختلفين للطبيعة؟ هل هما علمان أو حقيقتان لعالم واحد؟ كيف يمكن هذا؟

بمعنى ما فإننا نعود إلى بدايات العلم الحديث. الآن وكما في عصر نيوتن يتقابل علمان وجها لوجه - علم الجاذبية الذي يُوصِّفُ طبيعة لازمنية خاضعة لقوانين، وعلم النار علم الكيمياء. نعلم الآن لماذا كان من المستحيل للتركيب الأولي الذي أنتجه العلم، التركيب النيوتوني،أن يكون كاملا؛ فإنه لا يمكن لقوى التفاعل التي يوصّفها الديناميك شرح السلوك المعقد واللاعكوس للمادة.تحول النار المادة Ignis mutat res. وحسب هذا القول القديم فإن البنى الكيميائية هي مخلوقات النار ناتج سيرورات لا عكوسة. كيف يمكننا جسر الهوة بين الكينونة والصيرورةbeing and becoming – تصوران متنازعان، ومع ذلك فإن كليهما ضروري للوصول إلى توصيف متسق لهذا العالم الغريب الذي نعيش فيه؟

الكتاب الثالث

من الكينونة إلى الصيرورة

الفصل السابع

إعادة اكتشاف الزمن

تحول في التأكيد

لقد كتب وايتهد "إن صراع المذاهب ليس كارثة، إنه فرصة سانحة"[1]. إذا كانت هذه العبارة صحيحة فإنه لم تكن هناك فرص سانحة كثيرة في تاريخ العلم كهذه الفرصة: عالَمان يتواجهان عالم الديناميك وعالم الترموديناميك.

لقد كان العلم النيوتوني الناتج والتركيب المتوج لقرون من التجريب ولخطوط تقارب للبحث النظري. والشيء ذاته صحيح بالنسبة للترموديناميك. إن نمو العلم هو مختلف تماما عن التفتح المتسق للفروع العلمية التي ينقسم كل منها إلى عدد متزايد من الأقسام المنعزلة. وبالعكس فإن تلاقي المسائل المختلفة ووجهات النظر يمكن أن يفتح هذه الأقسام المنعزلة ويهيج الثقافة العلمية. تتجاوز نتائج نقاط التحول هذه سياقها العلمي وتؤثر في المنظور الثقافي ككل. وبالعكس كثيرا ما كانت مسائل شاملة منابع الهام للعلم.

ويشير صدام المذاهب والصراع بين الكينونة والصيرورة إلى أنه تم الوصول إلى نقطة تحول وأننا بحاجة إلى مركب جديد. وهذا المركب يتم تشكيله الآن وهو غير متوقع تماما كالمركبات السابقة له. وإننا نجد تقاربا

ملحوظا في الأبحاث التي تساهم كلها في التعرف على الصعوبات الملازمة لتصور نيوتوني لنظرية علمية.

كان طموح العلم النيوتوني أن يقدم رؤية للطبيعة يمكن أن تكون عامة حتمية وموضوعية بحيث لا تحوي أية إشارة إلى المراقب وبحيث تصل إلى مستوى من التوصيف يتهرب من قبضات الزمن.

لقد وصلنا إلى لب المشكلة. "ما هو الزمن؟" هل يجب علينا القبول بالتقابل التقليدي منذ كانط بين الزمن السكوني للفيزياء الكلاسيكية والزمن الوجودي الذي نعانيه في حياتنا؟ حسب كارناب Carnap:

قال مرة آينشتاين أن مشكلة *الآن* شغلته بعمق. ولقد شرح أن تجربة *الآن* تعني شيئا خاصا بالنسبة للإنسان،شيئا مختلفا أساسا عن الماضي والمستقبل، ولكن هذا الاختلاف الهام لا يحدث ولا يمكن أن يحدث في الفيزياء. وأن عدم تمكن العلم من فهم *الآن* تبدو له موضوع تقبل مؤلم ولكن لا يمكن الإفلات منه. ولقد لاحظت أن كل ما يحدث موضوعيا يمكن للعلم أن يصفه؛ فمن جهة يمكن للفيزياء إن توصف التسلسل الزمني للأحداث، ومن جهة أخرى فإن الخصائص الغريبة بالنسبة لتجارب الإنسان مع الزمن، الحاوية على مواقفه المختلفة نحو الماضي والحاضر والمستقبل يمكن توصيفها (من حيث المبدأ) ويمكن شرحها من قبل علم النفس.لكن آينشتاين ظن أن هذين التوصيفين العلميين يمكن أن لا يكونا كافيين لإشباع حاجاتنا الإنسانية ؛وأن هناك شيئا أساسيا خاصا بالآن الذي هو تماما خارج مجال العلم[٢].

من الممتع أن نشير إلى أن برغسون بمعنى ما متتبعا طريق ماركس وصل أيضا إلى نظرية ثنائية (أنظر الفصل الثالث). بدأ برغسون مثل آينشتاين بزمن ذاتي ومن ثم تحرك إلى الزمن في الطبيعة، الزمن

الموضوعي للفيزياء. إلا أنه بالنسبة له فإن هذه الإحالة الموضوعية للزمن قد قادت إلى الانحطاط به. إن للزمن الوجودي الداخلي صفات كيفية تضيع في هذه العملية. ولهذا السبب أدخل برغسون التمييز ما بين الزمن الفيزيائي والاستدامة la durée. وهو تصور يشير إلى الزمن الوجودي.

ولكننا لا يمكننا التوقف هنا فكما يقول ج.ت. فرازر J.T.Fraser "إن الثنائية الناتجة بين الزمن المحسوس والزمن المفهوم هي معلم للحضارة العلمية الصناعية وهي نوع من الشيزوفرنيا الجمعية"(٣)، كما ذكرنا سابقا لقد أكد العلم الكلاسيكي على ثبات الدوام، أما اليوم فإننا نجد التغير والتطور؛ إننا لا نرى الآن في السماوات المسارات التي ملأت قلب كانط بالإعجاب مثل القانون الأخلاقي الذي كان تابعا له. إننا نرى الآن أشياء عجيبة كوازارات(*) ونبَّاضَّات(**) ومجرات متفجرة ومتمزقة أشلاء ونجوما تنهار كما يقال لنا إلى ثقوب سوداء مبتلعة لاعكوسيا كل شيء؛ ولهذا نتائج عميقة.

لم يخترق الزمن فقط البيولوجيا والجيولوجية والعلوم الاجتماعية ولكن أيضا المستويين اللذين كان يُعزَل عنهما المستوى الصغري والكوني. ليس هناك تاريخ للحياة فقط ،بل هناك تاريخ للكون ككل ، وهذا له نتائج عميقة.

إن أول ورقة بحث نظري يعالج النموذج الكوني من منظور النسبية العامة نشرها آينشتاين سنة ١٩١٧. ولقد قدمت منظوراً سكونياً لا زمنياً للكون، منظورَ سبينوزا مترجماً إلى الفيزياء. ولكن بعد ذلك يحدث اللا متوقع. لقد أصبح واضحا فورا أن هناك حلول أخرى لمعادلات آينشتاين

(*) أجرام سماوية ذات لمعان واشعاع راديوي كبير . حوالي سنة ضوئية في الحجم ولكنها أكثر لمعانا من المجرات بألف مرة .

(**) نجوم تنبض دوريا صغيرة القطر وتدور بسرعة كبيرة.

الكونية حلول تعتمد على الزمن.ونديـن بهذا الاكتشاف للفيزيائي الفلكي آ.فريدمان A.Friedmann والبلجيكي جي لوميتر G.Lemaitre. وبنفس الوقت كان هبل Hubble ومساعدوه يدرسون حركة المجرات، ولقد برهنوا أن سرعة هذه المجرات البعيدة تتناسب مع بعدها عن الأرض. وأصبحت العلاقة مع الكون المتمدد المكتشف من قبل فريدمن ولوميتر واضحة تماما. ولكن بقي الفيزيائيون ولسنوات عدة مستنكفين عن قبول توصيف "تاريخي" كهذا للتطور الكوني.وكان آينشتاين نفسه حذراً من هذا. ولقد ذكر لوميتر كثيراً أنه عندما حاول أن يناقش مع آينشتاين إمكانية جعل الحالة الابتدائية للكون أكثر دقة وبذلك ربما نجد تفسيرا للأشعة الكونية، لم يظهر آينشتاين أي اهتمام.

واليوم لدينا شاهد جديد الشعاع المتبقي لإشعاع الجسم الأسود، الضوء الذي أنار، الانفجار لكرة النار الفائقة الكثافة التي منها بدأ كوننا. والقصة كلها تبدو وكأنها قصة ملهاة للتاريخ. بمعنى ما أصبح آينشتاين بالرغم منه داروين الفيزياء. لقد علمنا داروين أن الانسان متموضع في التطور البيولوجي؛ وآينشتاين علمنا أننا متموضعون في كون متطور. ولقد قادتنا أفكار آينشتاين إلى قارة جديدة غير متوقعة كما كانت أمريكا بالنسبة لكولومبس. لقد كان آينشتاين مثل الكثيرين من جيله منقادا باعتقاد راسخ أن هناك مستوى أساسي بسيط للطبيعة. واليوم يصبح الوصول من قبل التجربة إلى هذا المستوي أكثر فأكثر صعوبة. الأشياء الوحيدة التي سلوكها على الحقيقة بسيط هي التي توجد في عالمنا فقط على المستوى الجهري. ويختار العلم الكلاسيكي مواضيعه من هذا المجال الوسيط. وأول المواضيع التي استفردها نيوتن – الأجسام الساقطة والنواس وحركة الكوكب كانت بسيطة. ولكننا نعرف الآن أن هذه البساطة ليست المعلم الأساسي: وأنه لا يمكن أن تُعزَى إلى باقي العالم.

هل يكفي هذا؟إننا نعرف الآن أن الثبات والبساطة هي استثناءات. هل يجب علينا عدم الاهتمام بالادعات الشاملة والشمولية لتصورات هي في الواقع تنطبق فقط على أشياء ثابتة وبسيطة؟ ولماذا القلق من عدم توافق الديناميك مع الترموديناميك؟

يجب أن لا ننسى كلمات وايتهد، وهي كلمات تتأكد باستمرار في تاريخ العلم! إن صراع المذاهب هو فرصة وليس كارثة. لقد أُقترِح كثيرا أن نتجاهل ببساطة بعض النتائج لأسباب ***عملية*** على أساس أنها مبنية على مثاليات من الصعب تحققها. لقد أقترح عدد من الفيزيائيين في مطلع هذا القرن التخلي عن الحتمية على أساس أنها بعيدة المنال في الواقع التجريبي(٤). حقا وكما أكدنا سابقاً فإننا لا نعرف مواقع وسرعات الجزيئات في منظومة كبيرة؛ وهكذا فإن التوقع الدقيق للتطور المستقبلي للمنظومة غير ممكن. وحديثا جدا أَمِل بريلوين Brillouin أن يحطم الحتمية باستدعاء الحقيقة التي يتطلبها الذوق السليم وهي أن التوقعات الصحيحة تتطلب معرفة دقيقة بالشروط الابتدائية وأنه يجب دفع قيمة لهذه المعرفة؛ يتطلب التنبؤ الدقيق اللازم لجعل الحتمية تعمل دفع ثمن "لا محدود".

ومع أن هذه الاعتراضات معقولة إلا أنها لا تؤثر في عالم تصورات الديناميك. وهي لا تشع بضوء جديد على الواقع. بالإضافة إلى ذلك فإن تحسينات في التقنية يمكن أن تقربنا أكثر فأكثر من المثاليات المتضمنة في الديناميك الكلاسيكي.

بالمقابل فإن براهين "عدم الإمكانية" لها أهمية أساسية. إنها تتضمن اكتشاف ***بنية داخلية غير متوقعة للواقع*** والتي تحكم على مشروع ثقافي بالفشل. إن هذه الاكتشافات سوف تستثني الإمكانية لعملية كان متصور

سابقاً أنه يمكن تطبيقها، على الأقل من حيث المبدأ. "لا يمكن لآلة أن يكون لها مردود أكبر من واحد" لا يمكن لآلة حرارية أن تنتج عملاً نافعاً إلا إذا كانت على اتصال مــع منبعين حراريين هــذه هــي أمثلة لإفادات للاستحالة statements of impossibility التي قادت إلى تجديدات عميقة في التصورات.

الترموديناميك والنسبية وميكانيك الكم جميعها متجذرة في اكتشاف المستحيلات، والتحديدات لطموحات الفيزياء الكلاسيكية. ولهذا فهي تؤشر لنهاية بحث وصل إلى نهاياته. ولكننا نرى اليوم هذه التجديدات العلمية في ضوء آخر ليس كنهاية ولكن كبداية وكانفتاح على فرص جديدة. سنرى في الفصل التاسع أن القانون الثاني للترموديناميك يعبر عن "استحالة" impossibility حتى على المستوى الصغري، ولكن حتى هناك فإن المستحيل المكتشف حديثا يصبح نقطة انطلاق لظهور تصورات جديدة.

نهاية العمومية

يجب أن يكون التوصيف العلمي متوافقا مع الموارد المتاحة لمراقب ينتمي إلى العالم الذي يوصفه ولايمكن أن يشير إلى كائن ما يتأمل العالم "من الخارج". هذه هي أولى المتطلبات الأساسية لنظرية النسبية. فيما يتعلق بانتشار الإشارات فإنه يظهر أن هناك حداً لا يمكن تجاوزه من قبل أي مراقب. وفي الواقع فإن (٣٠٠٠٠٠ كم /ثا =C) سرعة الضوء في الفراغ هي السرعة الحدية لانتشار كل الإشارات. وهكذا فإن هذه السرعة الحدية تلعب دوراً أساسياً. فهي تحدد المنطقة من الفراغ التي يمكن أن تؤثر في النقطة التي يتواجد فيها المراقب.

لا يوجد ثابت عمومي في الفيزياء النيوتونية. وهذا هو السبب في ادعائها للعمومية، حيث يمكن تطبيقها مهما كان مقياس الأشياء: قانون واحد يحكم حركة الذرات والكواكب والنجوم.

إن اكتشاف الثوابت العمومية يعني تغييراً جذرياً، وباستعمال سرعة الضوء كمقياس للمقارنة فإن الفيزياء أسست للتمييز بين السرعات المنخفضة والسرعات العالية التي تقترب من سرعة الضوء. وبالمثل فإن ثابت بلانك Planck يؤسس لمقياس طبيعي حسب كتلة الشيء. ولم يعد ممكناً اعتبار الذرة على أنها منظومة كوكبية صغيرة. فالإلكترونات تنتمي إلى مقياس آخر غير مقياس الكواكب وكل الأشياء الأخرى الجهرية الثقيلة والبطيئة الحركة بما فيها نحن.

إن الثوابت العمومية لا تحطم تجانس الكون فقط بإدخال مقاييس فيزيائية تصبح حسبها السلوكيات المختلفة نوعيا مختلفة ، ولكنها تقود أيضاً إلى تصور جديد للموضوعية. لا يستطيع أي مراقب أن يرسل إشارات تسير بسرعة أعلى من سرعة الضوء في الفراغ. ومن هذا نتيجة آينشتاين المهمة: لم يعد بإمكاننا تحديد التزامن المطلق بين حدثين يجريان بعيدا عن بعضهما؛ يمكن تعريف التزامن فقط بحدود إطار مرجعي معطى. لا يسمح لنا مجال هذا الكتاب الدخول في تفصيلات أكثر في النسبية. لنشر فقط إلى أن قوانين نيوتن لم تفترض أن المراقب كان "كائنا فيزيائيا". وُعرِّف التوصيف الموضوعي بدقة على أنه غياب أي إشارة لكاتبه. بالنسبة لكائنات ذكية "غير فيزيائية" قادرة على التواصل بسرعات لا متناهية فإن قوانين النسبية لا مناسبة لها. إن حقيقة كون النسبية مؤسسة على ضابط ينطبق فقط على مراقبين متوضِّعين فيزيائيا، لكائنات يمكن أن تكون فقط في مكان واحد في زمن معين وليس في كل مكان في نفس الآن، تعطي هذه الفيزياء صفة

"إنسانية". إلا أن هذا لا يعني أنها فيزياء "ذاتية"، ناتج تفضيلاتنا وعقائدنا؛ إنها تبقى خاضعة لضوابط داخلية التي تحددنا على أننا جزء من العالم الفيزيائي الذي نقوم بتوصيفه. إنها فيزياء تفترض مسبقا مراقبا متموضعا ضمن العالم المشاهد. وأن جدلنا مع الطبيعة لن يكون ناجحاً إلا إذا تم من داخل الطبيعة ذاتها.

ظهور ميكانيك الكم

لقد بدلت النسبية التصور الكلاسيكي للموضوعية. إلا أنها أبقت دون تغيير خاصة أساسية للفيزياء الكلاسيكية وهي الطموح للوصول إلى توصيف "كامل" للطبيعة. بعد النسبية لم يعد الفيزيائيون يميلون إلى استخدام جني يراقب الكون من الخارج، ولكنهم بقوا يتفكرون في رياضي فائق الذي، كما ادعى آينشتاين، لا يغش ولا يلعب بالنرد. ويملك هذا الرياضي الصيغة الكاملة للكون التي تحوي توصيفا كاملاً للطبيعة. تبقى النسبية بهذا المعنى استمراراً للفيزياء الكلاسيكية.

من جهة أخرى فإن ميكانيك الكم هو أول نظرية فيزيائية تقطع بالحقيقة مع الماضي. لا يموضعنا ميكانيك الكم ضمن الطبيعة فقط، بل يصفنا بأننا كائنات "ثقيلة" مؤلفة من عدد جهري من الذرات. لكي يوضح لنا آينشتاين بشكل جلي نتائج سرعة الضوء كثابت عمومي، تخيل آينشتاين نفسه راكباً فوتوناً أو إلكتروناً.ولكن ميكانيك الكم اكتشف أننا أثقل من أن تحملنا الكترونات أو فوتونات. لا يمكن الحلول محل هذه الكائنات الهوائية وأن نتطابق معها وأن نصف ماذا تفكر إن كانت تستطيع التفكير وماذا تختبر إذا كانت قادرة على الإحساس بشيء على الإطلاق.

إن تاريخ ميكانيك الكم، مثل كل التجديدات التصورية، معقد ، مليء بالأحداث غير المتوقعة؛ إنه تاريخ منطق لم تكتشف نتائجه إلا بعد فترة طويلة من ظهوره تحت ضغط التجربة وفي مناخ سياسي وثقافي صعب(٥). لا يمكننا رواية هذا التاريخ هنا؛ إلا أننا نريد أن نؤكد على دوره في بناء جسر بين الكينونة والصيرورة التي هي موضوعنا الأساسي.

إن ولادة ميكانيك الكم كانت بذاتها جزءاً من هذا البحث عن الجسر. كان بلانك مهتما بالتفاعل بين المادة والإشعاع. وكانت خلفية عمله الطموح لتحقيق تفاعل المادة –الضوء وهو ما حققه بولتزمن لتفاعل المادة – المادة، أي اكتشاف النموذج الحركي للسيرورات اللاعكوسة والتي تقود إلى توازن(٦)، ولدهشته وجد نفسه مجبراً لكي يصل إلى نتائج تجريبية صحيحة في حالة توازن حراري أن يفترض أن تبادل الطاقة بين المادة والإشعاع لا تتم إلا بخطوات متقطعة تحوي ثابتاً عمومياً، هذا الثابت العمومي هو h وهو يقيس "حجم" كل خطوة.

في هذه الحالة كما في حالات أخرى كثيرة فإن تحدي اللاعكوسية قاد إلى تقدم حاسم في الفيزياء.

بقي هذا الاكتشاف معزولاً حتى قدم آينشتاين أول تأويل عام لثابت بلانك. لقد أدرك أن لهذا الاكتشاف نتائج بعيدة المدى بالنسبة لطبيعة الضوء، وأدخل التصور الثوري: الطبيعة الثنائية للضوء موجة – جسيم.

كان الضوء ومنذ بدايات القرن التاسع عشر متعلقاً بخواص موجية تظهر في ظواهر مثل انحراف وتداخل الضوء. إلا أنه في نهاية القرن التاسع عشر اُكتشِفَتْ ظاهرة جديدة وهي التأثير الكهربائي للضوء photoelectric – الكهرضوئي أي طرد الإلكترونات كنتيجة لامتصاص الضوء. وكان من الصعب تفسير هذه

النتائج التجريبية بحدود الخواص الموجية التقليدية للضوء. لقد حل آينشتاين الأحجية بافتراض أن الضوء يمكن أن يكون موجة وجسيما معا، وأن هذين المظهرين مرتبطان من خلال ثابت بلانك. وبالدقة فإن موجة ضوئية هي موصوفة بتواترها ν وطول موجتها λ؛ تسمح لنا h أن نذهب من التواتر وطول الموجة إلى كميات حركية مثل الطاقة ε والعزم p والعلاقات بين ν و λ من جهة وبين ε و p من جهة أخرى هي بسيطة جداً $\varepsilon = h\nu$ و $p = h/\nu$ وكلاهما تحوي h. وبعد عشرين عاما وسَّع دي برويللي Louis de Broglie هذه الثنائية موجة – جسيم لتشمل المادة؛ وهكذا كانت نقطة بداية لميكانيك الكم.

سنة ١٩١٣ وصل نيلزبور الفيزياء الكمومية الجديدة ببنية الذرة (ثم في ما بعد بالجزيئات). وكنتيجة للثنائية موجة – جسيم بيَّن أنه توجد متتاليات متقطعة لمسارات الإلكترون. وعندما يتم تهييج ذرة فإن إلكترونا يقفز من مسار إلى آخر. وبنفس اللحظة فإن الإلكترون يطلق أو يمتص فوتونا الذي يقابل تواتره الفرق بين طاقة حركة الإلكترون في المسارين. ويحسب هذا الفرق من علاقة آينشتاين التي تربط بين الطاقة والتواتر.

وهكذا نصل إلى السنوات الحاسمة للفيزياء ١٩٢٥-١٩٢٧ "العصر الذهبي"(٧) خلال هذه الفترة القصيرة قام هايزنبرغ Heisenberg وبورن Born وجوردان Jordan وشرودينغر Schrodinger وديراك Dirac بجعل فيزياء الكم نظرية جديدة متسقة. وتحوي هذه النظرية على ثنائية آينشتاين ودي برويللي موجة – جسيم في إطار شكل جديد عام من الديناميك: ميكانيك الكم. لأغراضنا هنا فإن الجدة التصورية لميكانيك الكم هي مهمة جداً.

أولاً وقبل كل شيء يجب إدخال صياغة جديدة، غير معروفة في الفيزياء الكلاسيكية تسمح بأن يصبح "التكميم"quantiziation مدمجاً في اللغة

النظرية. إن الواقعة الأساسية هي أن الذرة لا يمكن أن توجد إلا في مستويات طاقية متقطعة discrete مقابلة للمسارات المتعددة للإلكترونات. ويعني هذا بخاصة أن الطاقة (أو الهاملتونيان) لا يمكن أن يكون دالة للموضع والعزم كما هي الحالة في الميكانيك الكلاسيكي. وإلا فإذا أعطينا للمواضع والعزوم قيماً مختلفة قليلاً عندئذ يمكن للطاقة أن تتغير باستمرار. وكما تكشف الملاحظة فإنه لا توجد إلا مستويات طاقية متقطعة.

لهذا علينا استبدال الفكرة الشائعة بأن الهاملتونيان هو دالة الموضع والعزم بشيء جديد؛ إن الفكرة الأساسية لميكانيك الكم هي أن الهاملتونيان وكذلك المقادير الأخرى للميكانيك الكلاسيكي مثل الإحداثيات q والعزوم p تصبح الآن ***مؤثرات operators***. وهذه إحدى أجرأ الأفكار التي أُدخِلت إلى العلم، ونرغب في مناقشتها باستفاضة أكثر.

إنها فكرة بسيطة مع أنها تبدو في البداية نوعا ما تجريدية. يجب أن نميز بين المؤثر -كعملية رياضية - والشيء الذي يؤثر عليه - دالة ما مثلاً. لنأخذ كمثال المشتق الممثل بـــ (d/dx) ولنفرض أنه يعمل على دالة - لنقل (X^2)؛ فإن نتيجة هذه العملية دالة ***جديدة*** هذه المرة هي "(X ٢)". إلا أن بعض الدوال تتصرف بطريقة غريبة بالنسبة للاشتقاق فمثلا مشتق (e^{3x}) هو ٣e^{3x}: هنا نعود إلى الدالة الأصلية مضروبة فقط بعدد ما - هنا هو ٣. تدعى الدالات التي تستعاد بمؤثر ما يعمل عليها بـــ دوال آيجن eigen functions لهذا المؤثر والعدد الذي يضرب به بعد تطبيق المؤثر يدعى "قيم آيجن" لهذا المؤثر eigen values.

لكل مؤثر مجموعة "خزان" من القيم العددية المقابلة له؛ وتشكل هذه المجموعة "طيف" المؤثر. يكون هذا الطيف متقطع discrete عندما تشكل قيم آيجن متوالية متقطعة. فمثلا يوجد مؤثر له قيم آيجن هي الأعداد الصحيحة

..،٥،٤،٣،٢،١،٠ الخ ويمكن للطيف أن يكون مستمرا – مثلا عندما تكون قيم آيجن هي كل الأعداد بين ٠ و ١.

وهكذا يمكن التعبير عن التصور الأساسي لميكانيك الكم كما يلي: لكل الكميات الفيزيائية في الميكانيك الكلاسيكي مقابل في ميكانيك الكم هو المؤثر والقيم العددية التي يمكن أن تأخذها تلك الكمية الفيزيائية هي قيم آيجن لهذا المؤثر. النقطة المهمة هي أن تصور الكمية الفيزيائية (ممثلة بمؤثر) هي الآن مختلفة عن قيمها العددية (ممثلة بقيم آيجن لهذا المؤثر). والآن وبخاصة فإن الطاقة ستمثل بمؤثر هاملتوني، ومستويات الطاقة – القيم الملحوظة للطاقة – سيتم التعرف إليها على أنها قيم آيجن المقابلة لهذا المؤثر.

إن إدخال المؤثرات فتح للفيزياء عالماً صغرياً ذا غنىً غير متوقع، وإننا نعتذر أننا لا نستطيع أن نخصص مكاناً أوسع لهذا الموضوع المدهش الذي يتم فيه دمج ناجح للخيال الخلاق والملاحظة التجريبية. نرغب هنا التشديد فقط على أن العالم الصغري محكوم بقوانين ذات بنية مختلفة، وهذا يضع حدا مرة وإلى الأبد للأمل باكتشاف خطة تصورية وحيدة شاملة لكل مستويات التوصيف.

إن لغة رياضية جديدة تُختَرعُ لمعالجة وضع خاص يمكن في الواقع أن تفتح حقولَ بحثٍ مليئة بالمفاجاءات، وتتجاوز كل توقعات مخترعيها. وهذا صحيح أيضا بالنسبة لحساب التفاضل الذي هو في أساس صياغة الديناميك الكلاسيكي، وهو أيضاً صحيح لحساب المؤثراتoperator calculus. إن نظرية الكم التي بدأت كما هو مطلوب من نتائج اكتشافات تجريبية غير متوقعة كانت سريعة بأن تظهر نفسها حبلى بمحتوى جديد.

اليوم وبعد أكثر من خمسين عاما من إدخال المؤثرات إلى ميكانيك الكم، فإن مغذاها لا يزال موضع نقاش حي. من وجهة النظر التاريخية فإن

إدخال المؤثرات مرتبط بوجود مستويات للطاقة، ولكن اليوم فإن للمؤثرات تطبيقات حتى في الفيزياء الكلاسيكية. وهذا يعني أن مغزاها قد تعدى توقعات مؤسسي ميكانيك الكم. والآن تستحضر المؤثرات متى لسبب أو آخر يجب فيه التخلي عن فكرة مسار ديناميكي ومعه التوصيف الحتمي الذي يتضمنه المسار.

علاقة الارتياب لهايزنبرغ

لقد رأينا أنه في ميكانيك الكم كل كمية فيزيائية تقابل مؤثراً يعمل على دالات. ومن المؤثرات المهمة بصورة خاصة دالات آيجن وقيم آيجن المقابلة للمؤثر موضوع الاهتمام. وتقابل قيم آيجن بدقة القيم العددية التي يمكن للكمية الفيزيائية أن تأخذها. لنلق نظرة فاحصة على مؤثرات ميكانيك الكم التي تتعلق بالإحداثيات والعزوم؛ والإحداثيات كما رأينا في الفصل الثاني هي المتحولات القياسية.

الإحداثيات والعزوم في الميكانيك الكلاسيكي هي مستقلة بمعنى أننا يمكن أن نعطي لإحداثية ما قيمة عددية مستقلة تماما عن العدد الذي نعطيه للعزم. إلا أن وجود ثابت بلانك يتضمن تخفيضا لعدد المتحولات المستقلة. وكان يمكن التكهن بهذا من علاقة آينشتاين ودي برويللي $\lambda = h/p$، التي كما رأينا تربط طول الموجة بالعزم. ويُعبِّر ثابت بلانك عن العلاقة بين الأطوال (المرتبطة بشكل وثيق بفكرة الإحداثيات) والعزوم. لذا فإن المواضع والعزوم لم تعد متحولات مستقلة كما في الميكانيك الكلاسيكي. والمؤثرات المقابلة للمواضع والعزوم يمكن التعبير عنها بحدود الإحداثيات فقط أو العزوم، وهذا مفصل في أي كتاب مدرسي في ميكانيك الكم.

النقطة الهامة هي أنه في كل الحالات يظهر نوع واحد فقط من الكميات (إما الإحداثيات أو العزوم) وليس كلاهما. بهذا المعنى يمكننا القول أن ميكانيك الكم يقسم متحولات الميكانيك الكلاسيكي على اثنين.

تنتج عن العلاقة بين مؤثرات ميكانيك الكم خاصة أساسية واحدة: وهي أن المؤثرين q_{op} و p_{op} لا ***يتبادلان*** - أي أن نتائج تطبيق $p_{op}q_{op}$ و $q_{op}p_{op}$ على نفس الدالة تختلف عن بعضها. ولهذا نتائج عميقة، حيث أن المؤثرات القابلة للتبادل تقبل دالات آيجن مشتركة. لهذا لا يمكننا التعرف على دالة يمكن أن تكون دالة آيجن لكلا الإحداثية والعزم معا. وكنتيجة لتعريف مؤثرات الإحداثية والعزم في ميكانيك الكم فإنه لا توجد حالة حيث الكميات الفيزيائية، الإحداثية p والعزم q كلاهما لهما قيمة محددة تماما. وهذه الحالة الغير معروفة في الميكانيك الكلاسيكي يعبر عنها بعلاقات الارتياب الشهيرة لهايزنبرغ. يمكننا أن نقيس إحداثية وعزم ولكن تشتت dispertions التوقعات الممكنة المعبر عنه بـــ Δp و Δq هي مرتبطة بمتراجحة هايزنبرغ ($\Delta p \Delta q \geq h$) ويمكننا أخذ (Δq) صغيرة كما نريد ولكن حينئذ Δp تتناهى إلى اللانهاية والعكس صحيح.

لقد كُتِبَ الكثير عن علاقة الارتياب لهايزنبرغ ونحن نعترف بأن نقاشنا كان تبسيطاً مبالغاً فيه. ولكننا نرغب في أن نقدم لقرائنا بعض الشرح للمشكلة الجديدة الناشئة عن استعمال المؤثرات: تقود علاقة الارتياب لهايزنبرغ بالضرورة إلى إعادة النظر في تصور السببية. من الممكن تحديد الإحداثية بدقة ولكن في الوقت الذي نفعل فيه ذلك فإن العزم سيكون له قيمة عشوائية موجبة أو سالبة. بكلمات أخرى فإن موضع الشيء سيصبح بعيداً بشكل عشوائيٍّ، ويصبح معنى التعين في المكان localization التموضع مشوشاً: إن التصورات التي تشكل أساس الميكانيك تتغير بعمق.

لقد كانت نتائج ميكانيك الكم هذه غير مقبولة من قبل كثير من الفيزيائيين بمن فيهم آينشتاين؛ ولقد صمم الكثير من التجارب للبرهنة على عدم صحتها. وقامت محاولة أيضاً لتخفيف التغيرات التصورية المتضمنة. ولقد أُقترِح خاصة أن أسس ميكانيك الكم هي بطريقة ما مرتبطة باضطرابات ناتجة عن عملية الملاحظة ذاتها. وكان يُظَن أن أية منظومة لها أساساً معاملاتparameters ميكانيكية معرفة جيداً مثل الإحداثيات والعزوم؛ ولكن بعضها يتشوش بنتيجة القياس وأن علاقة الارتياب لهايزنبرغ لا تعبر إلا عن هذا التأثر بعملية القياس. وهكذا تبقى الواقعية الكلاسيكية على حالها على المستوى الأساسي وعلينا فقط أن نضيف توصيفا وضعياpositivistic. يبدو هذا التأويل ضيقاً جداً. فليست عملية القياس الكمومية هي ما يشوش النتائج. الأمر أبعد من ذلك: إن ثابت بلانك يجبرنا على أن نعيد النظر في تصوراتنا للإحداثيات والعزوم. ولقد تأكدت هذه النتيجة بتجارب حديثة صممت لاختبار فرضية متحولات محلية مختبئة أدخلت لإعادة الحتمية الكلاسيكية[٨]، وتؤكد نتائج هذه التجارب على النتائج الصارخة لميكانيك الكم.

إن حقيقة أن ميكانيك الكم يجبرنا على أن نتكلم بإطلاق أقل عن تموضع شيء يعني كما أكد على ذلك كثيراً نيلز بور أنه يجب علينا التخلي عن واقعية الفيزياء الكلاسيكية. بالنسبة لبور فإن ثابت بلانك يعرِّف التفاعل بين منظومة كمومية وآلة القياس على أنه غير قابل للفصل. إنه لا يمكننا أن نعطي قيما عددية إلا للظواهر الكمومية ككل بما فيها تفاعل القياس، وهكذا فإن أي توصيف يعني اختيار جهاز قياس وخيار السؤال الذي يجب أن يسأل. وبهذا المعنى فإن الجواب وهو نتيجة القياس لا يعطينا تماسا مع واقع معطى. علينا تقرير أي قياس سنقوم به وأي سؤال ستقوم تجاربنا بسؤال المنظومة عنه. وهكذا هناك

كثرة multiplicity من التمثيلات للمنظومة والتي لا يمكن اقتصارها، وكل واحد من هذه التمثيلات مرتبط بمجموعة معينة من المؤثرات operators.

وهذا يعني افتراقاً عن الفكرة الكلاسيكية للموضوعية، حيث أنه في المنظور الكلاسيكي فقط التوصيف "الموضوعي" هو التوصيف الكامل ***للمنظومة كما هي*** وهذا التوصيف مستقل عن خيار الطريقة التي تتم بها الملاحظة.

لقد أكد بور دوماً على جدة الخيار ***الإيجابي*** الذي أدخله القياس. وعلى الفيزيائي أن يختار لغته وأن يختار جهاز التجربة الجهرية. وعَبَّر بور عن هذه الفكرة من خلال مبدأ التكامل complementarity (٩)، الذي يمكن اعتباره كتعميم لعلاقات الارتياب لهايزنبرغ. يمكن قياس إما الإحداثيات أو العزوم ولكن ليس كلاهما. لا توجد لغة نظرية وحيدة تتعامل مع المتحولات التي يمكن أن تعزى لها قيم محددة تماما يمكنها أن تستنزف بشكل كامل المحتوى الفيزيائي لمنظومة ما. ويمكن لمختلف اللغات ووجهات النظر للمنظومة أن تكون متكاملة مع بعضها. إنها جميعا تتعامل مع الواقع ذاته، ولكن من المستحيل إرجاعها إلى توصيف وحيد مفرد. إن عدم إمكانية اقتصار مجموعة المنظورات للواقع نفسه تعبر عن استحالة وجود منظور مقدس الذي يمكن منه رؤية كامل الواقع. إلا أن درس مبدأ التكامل ليس درسا في الاستسلام. لقد اعتاد بور على القول أن مغذى ميكانيك الكم كان دوماً يصيبه بالدوار، ونحن هنا حقا نشعر بالدوار عندما نعزل عن الروتين المريح للذوق السليم commun sense.

الدرس الحقيقي الذي يجب تعلمه من مبدأ التكامل، درس ربما يمكن تطبيقه في حقول معرفية أخرى، هو في جوهره التأكيد على غنى الواقع والذي يتجاوز أية لغة مفردة وأية بيئة منطقية وحيدة. كل لغة لا يمكنها إلا

أن تعبر عن جزء من الواقع فقط. فمثلا الموسيقى لم تستنفذ بأي مما تحقق، ولا بأي أسلوب للتأليف من أعمال باخ Bach وحتى شونبرغ Schonberg.

لقد أكدنا على أهمية المؤثرات لأنها تبرهن أن الواقع المدروس من قبل الفيزياء هو أيضاً بناء فكري؛ وهو ليس معطى فقط. يجب أن نميز بين فكرة مجردة لإحداثية أو عزم والممثلة رياضيا بواسطة مؤثرات وتحققها العددي الذي يمكن الوصول إليه عن طريق التجارب. إن أحد أسباب التعارض بين الثقافتين [العلمية والإنسانية] ربما كان الاعتقاد بأن الأدب يقابل نقل عملية تصور للواقع إلى "القص" fiction بينما يبدو العلم وكأنه يعبر عن "الواقع" الموضوعي. يعلمنا ميكانيك الكم أن الوضع ليس بهذه البساطة. فعلى كل المستويات يتضمن الواقع عنصراً أساسياً من عملية التصور conceptualization.

التطور الزمني للمنظومات الكمومية

سننتقل الآن لبحث التطور الزمني لمنظومات كمومية. كما في الميكانيك الكلاسيكي يلعب الهاملتونيان دوراً أساسياً. وكما رأينا في ميكانيك الكم فإنه يستبدَل بمؤثر الهاملوتنيان H_{op}. ويلعب مؤثر الطاقة هذا دوراً محورياً: فإن قيم آيجن التي له تقابل مستويات طاقية؛ ومن جهة أخرى كما في الميكانيك الكلاسيكي فإن مؤثر هاملتونيان يحدد التطور الزمني للمنظومة. إن الدور الذي تلعبه المعادلة القياسية canonical equation في الميكانيك الكلاسيكي تأخذه معادلة شرودينغر في ميكانيك الكم، وهي معادلة تعبر عن التطور الزمني لدالة تُوصِّفُ الحالة الكمومية كنتيجة لتطبيق المؤثر H_{op} على دالة الموجة Ψ (بالطبع هناك

صياغات أخرى لهذه المعادلة لا نستطيع ذكرها هنا). ولقد أختير الحد "دالة الموجة" للتأكيد مرة أخرى على الثنائية موجة- جسيم الأساسية في كل الفيزياء الكمومية. Ψ هي ***مطال الموجة*** التي تتطور حسب معادلة نمط جسيم محدد بالهاملتونيان. إن معادلة شرودينغر تشبه المعادلة القياسية في الميكانيك الكلاسيكي من حيث أنها تعبر عن تطور ***عكوس وحتمي***. إن التغير العكوس لدالة الموجة يقابل حركة عكوسة على مسار. وإذا عرفت دالة الموجة في لحظة معينة فإن معادلة شرودينغر تسمح بحسابها لأية لحظة سابقة أو لاحقة. من وجهة النظر هذه فإن الموقف مشابه تماما للموقف في الميكانيك الكلاسيكي. هذا لأن علاقات الارتياب في ميكانيك الكم لا تحوي الزمن. يبقى الزمن عدداً وليس مؤثراً ويمكن فقط للمؤثرات أن تظهر في علاقات الارتياب لهايزنبرغ.

يتعامل ميكانيك الكم بنصف متحولات الميكانيك الكلاسيكي. ونتيجة لهذا فإن الحتمية الكلاسيكية لا يمكن أن تنطبق هنا، وفي الفيزياء الكمومية تلعب الاعتبارات الإحصائية الدور المحوري. ونحن نتلمس هذه الاعتبارات الإحصائية من خلال شدة الموجة $|\psi^2|$ (مربع المطال).

إن التأويل الإحصائي القياسي لميكانيك الكم يجري كما يلي: لنعتبر دالات آيجن لمؤثر ما - وليكن مؤثر الطاقة operator H_{op} - وقيم آيجن المقابلة. عموما إن دالة الموجة Ψ لن تكون دالة لآيجن لمؤثر الطاقة، ولكن يمكن أن يعبر عنها على أنها تراكب لدالات آيجن هذه. وأهمية كل منها في هذا التراكب يسمح لنا بحساب احتمالات ظهور مختلف قيم آيجن المقابلة لها.

ونلاحظ هنا ثانية الافتراق الأساسي عن النظرية الكلاسيكية. يمكن توقع الاحتمالات فقط وليس الحوادث المفردة. وهذه هي المرة الثانية في تاريخ العلم التي يتم فيها استعمال الاحتمالات لشرح خواص أساسية للطبيعة.

وكانت المرة الأولى في تأويل بولتزمن للأنطروبية. إلا أنه بقيت ممكنة وجهة النظر الذاتية subjective؛ بينما هنا من هذا المنظور فإن جهلنا "فقط" في مقابل تعقيد المنظومات المعتبرة منعنا من إعطاء توصيف كامل. (سنرى أنه الآن من الممكن التغلب على هذا الموقف) هنا وكما في السابق فإن استعمال الاحتمالات لم يكن مقبولاً من أكثر الفيزيائيين – بمن فيهم آينشتاين – الذي أمل في الوصول إلى توصيف حتمي "كامل". وهنا كما في اللاعكوسية تبدى جهلنا يقدم مخرجاً: إن عدم كفايتنا تجعل منا مسؤولين عن السلوك الإحصائي في العالم الكمومي كما تجعلنا مسؤولين عن اللاعكوسية.

ومرة أخرى نرجع إلى مسألة المتحولات المخبأة. إلا أنه كما، لا يوجد دليل تجريبي يبرر إدخال هكذا متحولات فإنه يبدو أنه لا يمكن التخلي عن دور الاحتمالات.

هناك حالة وحيدة فقط تقود فيها معادلة شرودينغر إلى تنبؤ حتمي: وهي عندما Ψ (دالة الموجة) بدلاً من أن تكون *تراكباً* لدالات آيجن فإنها *تختزل* إلى دالة آيجن مفردة. وبخاصة في عملية قياس مثالية يمكن أن يتم تحضير منظومة بطريقة يمكن التنبؤ فيها بنتيجة القياس. عندئذ نعرف أن المنظومة هي موصَّفة بدالة آيجن المقابلة. ومن تلك اللحظة وإلى ما بعد يمكن وصف المنظومة بوثوقية على أنها حالة آيجن المشار إليها بنتيجة القياس.

إن لعملية القياس في ميكانيك الكم مغذى خاص يجذب كثيراً من الاهتمام في هذه الأيام. لنفترض أننا بدأنا بدالة موجة هي حقا تراكب دالات آيجن. ونتيجة لعملية القياس فإن هذه المجموعة المفردة من المنظومات الممثلة جميعها بدالة الموجة تستبدل بمجموعة من دالات الموجة المقابلة لمختلف قيم آيجن التي يمكن قياسها. وبنص تقني، فإن القياس يقود من دالة موجة وحيدة (حالة "صافية") إلى مزيج.

وكما أشار بور وروزنفيلد [١٠] مراراً يحوي كل قياس عنصراً من *اللاعكوسية*، ولجوءا إلى ظاهرة لا عكوسة، مثل السيرورات الكيميائية المقابلة لتسجيل" المعطيات". ويُصاحَب التسجيل بتكبير حيث ينتج حدث صغري أثرا على مستوى جهري – أي مستوى يمكننا فيه قراءة أجهزة القياس. وهكذا فإن القياس يفترض مسبقا اللاعكوسية.

كان هذا صحيحاً بمعنى ما في الميكانيك الكلاسيكي. إلا أن مسألة المظهر اللاعكوس للقياس هي أكثر إلحاحاً في ميكانيك الكم لأنه يبرز أسئلة على مستوى صياغته.

ينص المقترب المعتاد لهذه المسألة على أنه ليس لميكانيك الكم خيار إلا أن يُسلّم بالتواجد معاً لسيرورتين غير قابلتين للإرجاع إلى بعضهما وهما التطور العكوس المستمر الذي توصفه معادلة شرودينغر والإرجاع اللاعكوس والمتقطع لدالة الموجة إلى أحد دالات آيجن التابعة لها عند زمن القياس. ومن هنا المفارقة: يمكن اختيار معادلة شرودينغر فقط بالقياسات اللاعكوسة التي لا يمكن للمعادلة *بالتعريف* أن تُوصِّفها. وهكذا فإنه من المستحيل لميكانيك الكم أن يقيم بنية مغلقة.

في مقابل هذه الصعوبات التجأ بعض الفيزيائيين مرة أخرى إلى الذاتية بالقول إننا – وقياس*نا* وحتى بالنسبة للبعض عقل*نا* – هذه الذاتية التي تحدد تطور المنظومة التي تخرق القانون الطبيعي للعكوسية "الموضوعية "[١١]، واستنتج آخرون أن معادلة شرودينغر ليست "كاملة" وأن حدوداً جديدة يجب أن تضاف لكي تأخذ بالحسبان لا عكوسية القياس. ومرة أخرى أُقتِرحَتْ "حلول" أخرى غير محتملة مثل فرضية العوالم – المتعددة لإيفيريت Everett (أنظر d'Espagnat، ref. ٨). إلا أنه بالنسبة لنا فإن التواجد في ميكانيك الكم للعكوسة واللاعكوسة يُظهِر أن المثالية الكلاسيكية التي توصف عالم الديناميك على أنه مستقل بذاته هي مستحيلة على المستوى الصغري. وهذا هو ما عناه بور عندما قال أن اللغة التي نستعملها

لتوصيف المنظومة الكمومية لا يمكن فصلها عن التصورات الجهرية التي توصف عمل أجهزتنا للقياس. إن معادلة شرودينغر لا تُوِّصف مستوى منفصل للواقع؛ بل تفترض بالأحرى مسبقاً العالم الجهري الذي تنتمي إليه.

وهكذا فإن مشكلة القياس في ميكانيك الكم هي مظهر لأحد المسائل التي يهتم بها هذا الكتاب – العلاقة بين العالم البسيط كما توصفه مسارات الهاملتونيان ومعادلة شرودينغر وبين العالم الجهري المعقد للسيرورات اللاعكوسة.

سنرى في الفصل التاسع أن اللاعكوسة تدخل في الفيزياء الكلاسيكية عندما يصبح التمثيل المثالي المتضمن في تصور المسار غير مناسب. وإن مسألة القياس في ميكانيك الكم هي قابلة لنفس النمط من الحل(١٢). وفي الحقيقة فإن دالة الموجة تمثل المعرفة الأمثليةmaximum لمنظومة كمومية. وكما في الفيزياء الكلاسيكية فإن موضوع هذه المعرفة الأمثلية يحقق معادلة تطور عكوس. في كلتا الحالتين تدخل اللاعكوسية عندما يكون من الضروري استبدال الموضوع المثالي المقابل لهذه المعرفة الأمثلية بتصورات أقل مثالية. ولكن متى يحدث هذا؟ هذا سؤال عن الآلية الفيزيائية للاعكوسية التي سنرجع إليها في الفصل التاسع، ولكن دعنا أولاً نلخص بعض الملامح الأخرى لتجديد العلم المعاصر.

كون لا متوازن

بدأت الثورتان العلميتان الموصوفتان في هذا الفصل كمحاولات لدمج الثوابت العامة (c) و(h) في إطار الميكانيك الكلاسيكي. وقاد هذا إلى نتائج بعيدة المدى، وصفنا بعضها هنا. وبدا ميكانيك الكم والنسبية من وجهات نظر أخرى وكأنهما يلتزمان المنظور العالمي الأساسي كما عبر عنه ميكانيك نيوتن. وهذا صحيح خاصة فيما يتعلق بوظيفة ومعنى الزمن. ففي ميكانيك الكم متى عرفنا

دالة الموجة في الزمن صفر فإن قيمتها $\Psi(t)$ في الماضي والمستقبل قد تعينت. وكذلك في نظرية النسبية فإن الصفة *السكونية* الهندسية للزمن قد تم التأكيد عليها باستعمال رموز الأبعاد الأربعة (ثلاثة للمكان وواحد للزمن). وكما عبر عن ذلك باختصار مينكوفسكي Minkowski سنة ١٩٠٨ "المكان لذاته والزمان لذاته هما محكومان بالتلاشي إلى مجرد أشباح وفقط سيحتفظ نوع من الاتحاد بين الاثنين بواقع مستقل ... فقط سيبقى عالم بذاته "[١٣].

ولكن تغير هذا الوضع جذريا خلال الخمسة عقود الماضية. وأصبح ميكانيك الكم الأداة الرئيسية في التعامل مع الجسيمات الأولية وتحولاتها. وإن وصف التنوع المحير للجسيمات الأولية التي ظهرت في السنوات القليلة الماضية هو خارج نطاق هذا الكتاب.

نريد فقط أن نذكر أنه باستعمال ميكانيك الكم والنسبية معا بَّين ديراك أنه في مقابل كل جسيم من كتلة m وشحنة e هناك نقيض-جسيم له نفس الكتلة ولكنه ذو شحنة معاكسة. فالبوزيترون هو جسيم نقيض للإلكترون وكذلك فإن نقيض البروتون يُنَتج حالياً في المسرعات عالية الطاقة. وأصبح نقيض المادة موضوعا عاما للدراسة في فيزياء الجسيمات. عندما تصطدم الجسيمات مع نقيضها فإنها تعدم بعضها منتجة فوتونات وهي جسيمات ليس لها كتلة وتقابل الضوء. إن معادلات ميكانيك الكم هي متناظرة بالنسبة للتبادل جسيم -ضد جسيم، أو بدقة أكبر هي متناظرة بالنسبة لشرط ضعيف يعرف على أنه تناظر (CPT). بالرغم من هذا التناظر فإنه يوجد ***لا تناظر*** واقع بين الجسيمات ومضاداتها في العالم المحيط بنا. فنحن مكونون من جسيمات (إلكترونات وبروتونات) بينما تبقى الأضداد نواتج مخبرية نادرة. لو كانت الجسيمات وأضدادها متواجدة

بكميات متساوية فإن كل مادة ستنعدم. يوجد شاهد قوي على عدم تواجد أضداد المادة في مجرتنا ولكننا لا يمكننا الجزم بعدم وجودها في مجرات بعيدة. يمكننا تخيل آلية في الكون تفصل الجسيمات عن أضدادها وتخفي الأضداد في مكان ما إلا أنه يبدو أننا نعيش في كون "لامتناظر" حيث تسيطر المادة على أضدادها.

كيف يمكن هذا؟ قدم زاخاروف Sakharov سنة ١٩٦٦ نموذجاً يشرح هذا الوضع واليوم هناك الكثير من الأبحاث على هذه الخطوط(١٤) أحد العناصر الأساسية في هذا النموذج أنه عند تشكل المادة كان الكون في ***شروط لا توازن*** لأنه في حالة التوازن فإن قانون تأثير الكتل المبحوث في الفصل الخامس كان سيتطلب كميات متساوية من المادة وضدها.

ما نريد تأكيده هنا أن اللاتوازن قد أخذ الآن بعداً كونياً. فلولا اللاتوازن واللاعكوسية المرتبطة بها لكانت بنية الكون مختلفة تماماً عما هي عليه. ولن تكون هناك كمية معتبرة من المادة بل بعض التأرجحات المحلية لفائض من المادة على ضدها وبالعكس.

تحولت نظرية الكم من نظرية ميكانيكية تحاول تبرير وجود الثابت العام h إلى نظرية في التحولات المتبادلة للجسيمات الأولية. بسبب المحاولات الأخيرة لصياغة "نظرية موحدة للجسيمات الأولية"أُقترِح أن كل جسيمات المادة بما فيها البروتون هي غير ثابتة (إلا أن عمر البروتون سيكون كبيراً جداً من مقياس (١٠E٣٠)سنة). وهكذا فإن الميكانيك وهو علم الحركة بدلاً من أن يقابل المستوى الأساسي في التوصيف يصبح تقريباً approximation مفيداً فقط لأن عمر الجسيمات الأولية مثل البروتون طويل جداً.

ولقد مرت النظرية النسبية بتحولات مشابهة. فكما ذكرنا سابقا لقد بدأت كنظرية هندسية والتي أكدت على الطابع اللازمني. أما اليوم فهي الأداة الرئيسية للبحث في التاريخ الحراري للكون لكي تقدم الدلائل على الآليات التي قادت إلى بنية الكون الحالية. ولذلك اكتسبت مسألة الزمن واللاعكوسية إلحاحاً جديداً. فمن حقول الهندسة engineering والكيمياء التطبيقية حيث صيغت (اللاعكوسة والزمن) لأول مرة، إلا أنها انتشرت إلى مجمل الفيزياء ومن الجسيمات الأولية إلى علم الكون.

من منظور هــذا الكتاب فإن أهميــة ميكانيك الكم تقــع فـــي إدخاله الاحتمالات إلى الفيزياء الصغرية. ويجب أن لا نخلط هذا بالسيرورات الستوكاستية التي تتوصّفُ التفاعلات الكيميائية كما بينا في الفصل الخامس. تتطور دالة الموجة في ميكانيك الكم بطريقة حتمية ما عدى في عملية القياس.

لقد رأينا أنه في الخمسين سنة منذ صياغة ميكانيك الكم، فإن دراسة السيرورات اللامتوازنة قد بينت أن التأرجحات والعناصر الستوكاستيكية هي مهمة حتى على المقياس الصغري. لقد بينا مراراً في هذا الكتاب أن هناك مراجعة في التصورات الفيزيائية تحدث الآن وتقود من سيرورات عكوسة حتمية إلى ســيرورات ستوكاســتيكية ولا عكوســة. إننا نعتقد أن ميكانيك الكم يحتل نوعا من الموقع المتوسط في هذه العملية. فهناك تظهر الاحتمالات ولكن ليس اللاعكوسة. نتوقع وسنعطي أسباباً لذلك في الفصل التاسع أن الخطوة التالية ستكون إدخال لاعكوسية أساسية في المستوى الصغري. وعلى النقيض من المحاولات لإعادة الاعتقاد الأصولي الكلاسيكي من خلال متحولات مخبأة أو وسائل أخرى فإننا سنجادل أنه من الضروري الابتعاد أكثر عن التوصيف الحتمي للطبيعة ولتبّني توصيف إحصائي وستوكاستي.

الفصل الثامن

صـداع المذاهـب

الاحتمالات واللاعكوسية

سنرى أن الفيزيائي في كل مكان قد طَهَّر علمه تقريباً من استعمال زمن ذي اتجاه واحد كما لو أنه كان شاعراً أن هذه الفكرة تُدخِل عنصراً بشرياً غريباً عن مُثل الفيزياء. إلا أنه في العديد من الحالات الهامة أُستحضِرت فكرتا زمن وسببية ذواتا اتجاه وحيد، ولكن دوماً كما سنحاول بيانه، لدعم نظرية خاطئة.

ج. ن. لويس G.N.LEWIS (١)

إن قانون أن الانطروبية تتزايد دوماً - القانون الثاني للترموديناميك - يقع كما أظن في الموقع الأفضل من بين قوانين الطبيعة. إذا أشار عليك إنسان ما أن نظريتك المفضلة للكون تتعارض مع معادلات ماكسويل - فهذا سيئ لمعادلات ماكسويل. وإذا حدث أن كانت مناقضة للملاحظة - حسناً فإن هؤلاء المجربين يلفقون تجاربهم أحياناً. ولكن إذا كانت نظريتك معارضة للقانون الثاني للترموديناميك فإنه لا أمل لك؛ وليس على نظريتك إلا أن تنهار في إذلال كبير.

ا. س. اديغنتون A.S.Eddington(٢)

أصبح الصراع واضحاً بين الترموديناميك والديناميك بصياغة كلاوزيوس للقانون الثاني للترموديناميك. ليس هناك من سؤال وحيد في

الفيزياء نوقش كثيراً وبحمية كما نوقشت العلاقة بين الترموديناميك والديناميك. وحتى الآن وبعد مائة وخمسون عاماً بعد كلاوزيوس فإن السؤال لا يزال يثير الكثير من الانفعالات القوية، ولا يمكن لأحد أن يبقى حيادياً في مواجهة هذا الصراع الذي يتضمن معنى الواقع والزمن. هل يجب التخلي عن الديناميك منبع العلم الحديث لصالح شكل ما من الترموديناميك؟ كانت هذه وجهة نظر "الطاقيين" energeticists الذين مارسوا تأثيراً كبيراً خلال القرن التاسع عشر. هل هناك من طريقة "لإنقاذ" الديناميك، لأن نستوعب القانون الثاني دون التخلي عن البناء الشاهق الذي بناه نيوتن ومن تبعه؟ ما الدور الذي يمكن للأنطروبية أن تلعبه في عالم موصَّف بالديناميك؟

لقد ذكرنا سابقاً الجواب المقترح من قبل بولتزمن. تقيم معادلة بولتزمن الشهيرة $S=k\ logP$ علاقة بين الأنطروبية والاحتمالات: تتزايد الأنطروبية لأن الاحتمالات تتزايد. لنؤكد فوراً أنه من هذا المنظور للقانون الثاني أهمية كبيرة عملية، ولكن لن يكون له أي مغذى أساسي. كتب مارتن غاردنر Martin Gardner في كتابه *الكون الأعسر* The Ambidextrous Univers: "تذهب بعض الحوادث في اتجاه واحد ليس لأنها لا تستطيع الذهاب بالاتجاه الآخر ولكن لأنها من غير المحتمل تماماً أن ترجع إلى الخلف"[٣]. إذا طورنا إمكاناتنا في قياس حوادث غير متوقعة أكثر فأكثر فإننا سنصل إلى وضع يلعب فيه القانون الثاني دوراً صغيراً للدرجة التي نريدها وهذه هي وجهة النظر التي تؤخذ الآن غالباً. إلا أن لبلانك وجهة نظر أخرى:

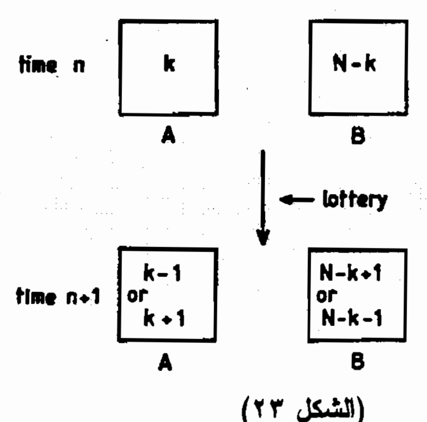
إنه من العبث افتراض أن صحة القانون الثاني تعتمد بأي شكل على براعة الفيزيائي أو الكيميائي في الملاحظة أو التجربة. إن فحوى القانون الثاني ليس له أية علاقة بالتجربة؛ فالقانون الثاني يؤكد باختصار *أنه يوجد في الطبيعة كمية تتغير دوما في نفس الاتجاه في كل السيرورات الطبيعية*. إن هذه المقولة

الموضوعة بهذا الشكل العمومي يمكن أن تكون صحيحة أولا تكون ؛ ولكن مهما كانت فإنها ستبقى كذلك بغض النظر عن وجود كائنات مفكرة وقادرة على القياس على الأرض أم لم يكن، وإذا افترضنا وجودهم أكانوا قادرين أم غير قادرين على قياس تفاصيل السيرورات الفيزيائية والكيميائية بدقة رقم أو رقمين أو مائة رقم بعد الفاصلة بأفضل مما نفعل. إن تحديدات القانون إن وجدت يجب أن تكون في مجال الفكرة الأساسية، في الطبيعة المدروسة وليس في الدارس. ليس هناك من أهمية لخبرة الإنسان التي استدعيت للتوصل إلى هذا القانون؛ لأنه في الواقع هذه هي الطريقة الوحيدة في معرفة قانون طبيعي[٤].

إلا أن آراء بلانك بقيت معزولة. فكما ذكرنا اعتبر معظم الفيزيائيين القانون الثاني نتيجة تقريبات، وتدخل آراء ذاتية في عالم الفيزياء المحكم. فمثلاً تنص الجملة الشهيرة لبورن Born "اللاعكوسية هي ناتج إدخال الجهل في القوانين الأساسية للفيزياء"[٥].

إننا نرغب في الفصل الحالي أن نوصِّف بعض الخطوات الأساسية في تطور تأويل القانون الثاني. أولاً يجب أن نعرف لماذا بدت هذه المشكلة عويصة بهذا الشكل. وفي الفصل التاسع سنستمر بتقديم مقترب جديد نأمل في أن يعبر عن الأصالة الجذرية وعن المعنى الموضوعي للقانون الثاني. وستتفق نتيجتنا مع رأي بلانك، وسنبين أنه بعيداً عن أن يحطم البنية المهيبة للديناميك فإن القانون الثاني يضيف عنصراً جديداً أساسياً له.

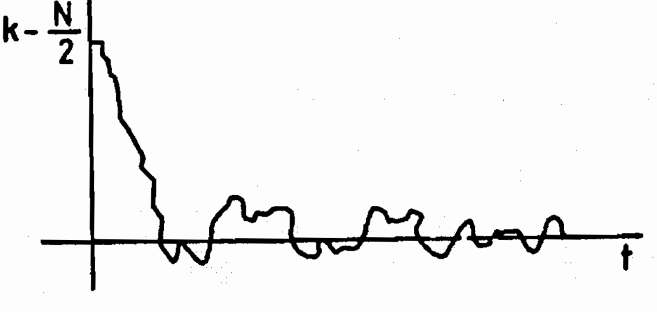
أولاً نريد أن نوضِّح تعلق الاحتمالات والأنطروبية ببعضهما لدى بولتزمن. وبداية سنوصف "نموذج الوعاء" الذي اقترحه اهرنفست P. and T.Ehrenfest [٦]. ليكن لدينا N أشياء (مثلاً كرات) موزعة بين حاويتين A و B. ويتم اختيار كرة على فترات زمنية مطردة (مثلاً كل ثانية) عشوائياً وتنقل من إحدى الحاويتين لا على التعيين إلى الأخرى. وليكن لدينا في الزمن n ، k كرة في A و $N-k$ كرة في B.



(الشكل ٢٣)

نموذج وعاء اهرنفست. N موزعة بين حاويتين A و B في الزمن n هناك k كرة في A و $N-k$ في B. ويتم على فترات زمنية مطردة نقل كرة من إحدى الحاويتين إلى الأخرى عشوائياً ولا على التعيين.

وعند الزمن $n+1$ سيكون في A إما $k-1$ أو $k+1$ كرة. سيكون لدينا الاحتمالات المرحلية k/N لأجل $k \rightarrow k-1$ و $1-k/N$ لأجل $k \rightarrow k+1$. لنفترض أننا تابعنا اللعبة فإننا نتوقع كنتيجة لنقل الكرات أن نصل إلى التوزيع الأعظمي للاحتمالات بمعنى بولتزمن. وعندما تكون N كبيرة فإن التوزيع سيقابل عددين متساويين $N/2$ في كل وعاء. ويمكننا التحقق من ذلك بحسابات ابتدائية أو بالقيام بالتجربة.

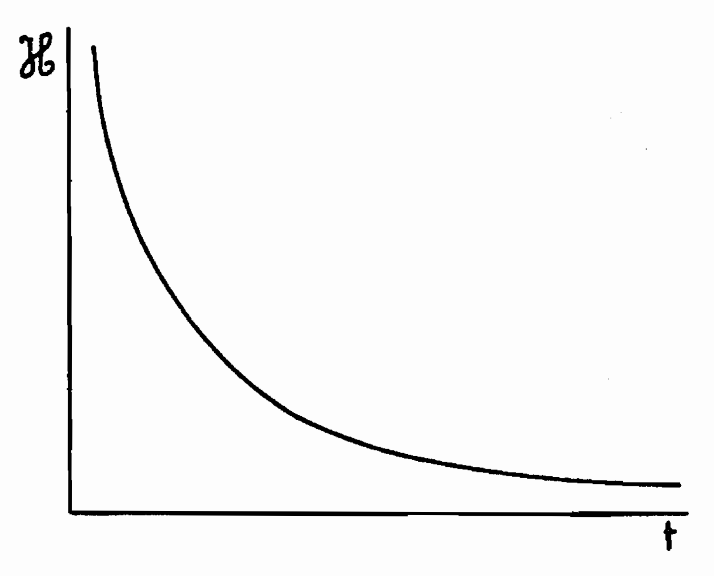


(الشكل ٢٤)

الاقتراب من التوازن $k= N/2$ في نموذج وعاء اهرنفست (تمثيل تخطيطي).

إن نموذج اهرنفست هو مثال بسيط لما يدعى "سيرورة ماركوف" (أو "سلسلة ماركوف") باسم عالم الرياضيات الروسي الشهير ماركوف الذي كان من أوائل من وصفوا سيرورات كهذه (وبوانكارييه أيضاً). باختصار فإن مظهرها الخاص هو وجود احتمالات انتقالية معرفة بدقة ***بغض النظر عن التاريخ السابق للمنظومة***.

لسلاسل ماركوف خاصية مثيرة: يمكن توصيفها بحدود الأنطروبية. لندعو $P(k)$ احتمال وجود k كرة في A. يمكننا حينئذ أن نربطها "بكمية" لها نفس خواص الأنطروبية تماماً كما ناقشناها في الفصل الرابع. وتتغير الكمية H بانتظام مع الزمن كما تفعل الأنطروبية في منظومة معزولة. صحيح أن H ***تتناقص*** مع الزمن بينما الأنطروبية S تتزايد ولكن هذا موضوع تعريف: H تلعب دور S-.



(الشكل ٢٥)

تتطور الكمية H (التي تقابل نموذج اهرنفست) مع الزمن (كما هي معرفة في النص) وهذه الكمية تتناقص باستمرار لتختفي بعد زمن طويل.

إن المعنى الرياضي لهذه "الكمية H" يستحق البحث بتفصيل أكثر: إنها تقيس الفرق بين الاحتمالات في لحظة معينة وتلك التي تتواجد في حالة التوازن (حيث عدد الكرات في كل وعاء هو $N/٢$) ويمكننا تعميم الحجة المستعملة في نموذج اهرنفست. لننظر في تقسيم مربع – أي أننا نقسم المربع إلى عدد من المناطق المنفصلة. ثم ندرس توزع الجسيمات في المربع وندعو($P(kt$ احتمال إيجاد جسيم في المنطقة (k) و بالمثل ندعو هذه الكمية بـــ $p_{eqm}(k)$.عندما نصل إلى الانتظام uniformity. نفترض أنه كما في نموذج الوعاء يوجد احتمالات انتقالية معرفة جيدا. إن تعريف الكمية (H) هي:

$$H = \sum_{k} p(k,t) \log \frac{p(k,t)}{p_{eqm}(k)}$$

لاحظ النسبة $p(k,t)/p_{eqm}(k)$ التي تظهر في هذه العلاقة. لنفترض أنه يوجد ثمانية صناديق وأن $p_{eqm} = 1/8$. يمكن أن نبدأ مثلاً وكل الجسيمات في الصندوق الأول. ستكون القيم المقابلة لـــ ($P(k,t$ هي ١= ($P(١,t$ وستكون كل القيم الأخرى صفراً. وبالنتيجة نجد أن $H=log(١/[١/٨]=log٨$ ، وعندما يمر وقت طويل ستصبح الجسيمات متساوية التوزيع و $p(k,t) = p_{eqm}(k) = 1/8$ ، وكنتيجة فإن H ستتلاشى. يمكن تبيان أنه حسب الشكل ٢٥ فإن النقص في قيمة H يحدث بطريقة منتظمة (نجد البرهان في كل الكتب المدرسية التي تعالج نظرية السيرورات الستوكاستكية). ويبين هذا لماذا تلعب H دور الأنطروبية S-. إن تناقص H المنتظم له معنى بسيط جداً: إنه يقيس الانتظام المتدرجprogressive uniformization في المنظومة. تضيع المعلومات الأولية وتتحول المنظومة من "النظام" إلى "الفوضى".

لاحظ أن سيرورة ماركوف تتضمن التأرجحات كما هو مبين بوضوح في الشكل ٢٤. إذا انتظرنا طويلاً لمدة كافية فإنه يمكننا الرجوع إلى الحالة الابتدائية. إلا أننا نتعامل مع متوسطاتaverages والكمية H_M التي تتناقص بانتظام يعبر عنها بحدود ***توزيعات احتمالية*** وليس بحدود حوادث فردية. إنه التوزيع الاحتمالي الذي يتطور لاعكوسياً (في نموذج اهرنفست تميل دالة التوزيع بانتظام إلى توزيع ثنائي الحد). وهكذا فعلى مستوى دالات التوزيع تقود سلاسل ماركوف إلى ***اتجاه وحيد في الزمن***.

إن سهم الزمن هذا يؤشر إلى الفرق ما بين سلاسل ماركوف والتطور الزمني في ميكانيك الكم، حيث دالة الموجة مع أنها متعلقة بالاحتمالات، إلا أنها تتطور ***عكوسياً***. وهو يشرح أيضاً العلاقة القوية بين السيرورات الستوكاتية مثل سلاسل ماركوف واللاعكوسية. إلا أن تزايد الأنطروبية (أو تناقص H) ليس مبنياً على سهم زمن موجود في قوانين الطبيعة ولكن على رغبتنا باستعمال معرفتنا الحالية للتنبؤ بالسلوك في المستقبل (وليس في الماضي). ويذكر جيبس Gibbs بطريقته الزخرفية:

ومع أن التمييز بين الأحداث السابقة والتالية يمكن أن يكون لا أهمية له بالنسبة للرواية الرياضية إلا أن الأمر ليس كذلك بالنسبة لحوادث العالم الواقعي. يجب أن لا ننسى عند اختيارنا مجموعاتنا لشرح احتمالات الأحداث في العالم الواقعي، أننا مع أنه لا يمكننا عادة تحديد احتمالات لاحقة من احتمالات سابقة؛ فإنه من النادر جداً إمكان تحديد احتمالات سابقة من احتمالات لاحقة. لأنه نادراً ما يكون مبرراً استثناء اعتبار الاحتمال السابق لحوادث سابقة[٧].

إنها نقطة هامة وقد قادت إلى نقاشات كثيرة[٨]. في الواقع إن حساب الاحتمال موجه زمنياً. إن التنبؤ بالمستقبل يختلف عن التنبؤ عكسياً. إذا كانت

تلك كل القصة فإنه كان علينا أن نقر بأن علينا القبول بتأويل ذاتي للاعكوسية ،حيث أن التمييز بين المستقبل والماضي يعتمد علينا فقط. وبكلمات أخرى في التأويل الذاتي للاعكوسية (المدعم أكثر بالتشابه الغامض مع نظرية المعلومات) يكون المراقب مسؤولاً عن اللاتناظر الزمني الموصِّف لتطور المنظومة. حيث أن المراقب لا يمكنه بلمحة واحدة أن يحدد مواضع وسرعات كل الجسيمات المكوِّنة لمنظومة معقدة، فإنه لا يمكنه أن يعرَف الحالة الآنية التي تحوي ماضيها ومستقبلها معاً. ولا يمكنه أن يدرك القانون العكوس الذي يسمح له بالتنبؤ بتطورها من لحظة إلى التي تليها. ولا يمكنه منابلة المنظومة مثل الجني الذي اخترعه ماكسويل والذي يمكنه التفريق بين الجسيمات السريعة والجسيمات البطيئة وأن يفرض على المنظومة تطوراً معاكساً للترموديناميك نحو تزايد في لا انتظام توزيع درجات الحرارة [٩].

يبقى الترموديناميك علم المنظومات المعقدة؛ ولكن من هذا المنظور فإن الخاصية النوعية الوحيدة للمنظومات المعقدة هي أن معرفتنا بها محدودة وأن ارتيابنا يتزايد مع الزمن. وبدلاً من التعرف في اللاعكوسية على أنها شيء يربط الطبيعة بالمراقب، فإن العالم مجبر على أن يقبل أن الطبيعة لا تفعل إلا أن تريه جهله في مرآة. إن الطبيعة صامتة؛ واللاعكوسية أبعد ما تكون عن أن تجذِّرنا في العالم الفيزيائي، إنها فقط صدى لمحاولة الإنسان ولحدود هذه المحاولة.

إلا أنه يمكن تقديم اعتراض فوري، فتبعاً لهذا التأويل يجب على الترموديناميك أن يكون عاماً كجهلنا، يجب أن لا توجد إلا سيرورات لا عكوسية فقط. وهذه هي العقبة لكل التأويلات العامة للأنطروبية والتي تركز

على جهلنا بالشروط (أو الحدود) الابتدائية. اللاعكوسية ليست صفة عمومية. لكي نصل بين الديناميك والترموديناميك يلزمنا معيار فيزيائي بين السيرورات العكوسة واللاعكوسة.

سنتابع هذا السؤال في الفصل التاسع. أما هنا فلنعد إلى تاريخ العلم وإلى أعمال بولتزمن الريادية.

فتح بولتزمن

تعود مساهمة بولتزمن الأساسية إلى سنة ١٨٧٢، لحوالي ثلاثين سنة قبل اكتشاف سلاسل ماركوف، وكان طموحه أن يستنتج تأويلاً "ميكانيكياً" للأنطروبية. بكلمات أخرى بينما في سلاسل ماركوف الاحتمالات الانتقالية هي معطاة من الخارج كما هي مثلاً في نموذج اهرنفست، علينا هنا أن نعلقها بالسلوك الديناميكي للمنظومة. ولقد كان بولتزمن مفتوناً بهذه المسألة لدرجة أنه خصص معظم حياته العلمية لها. في كتابه ***كتابات شعبية*** ***Populare Schriften*** [١٠] كتب "إذا سُؤلت ما الاسم الذي يجب أن نعطيه لهذا القرن سأجيب بدون تردد أن هذا هو عصر دارون". لقد كان بولتزمن منجذباً جداً لفكرة التطور وكان طموحه أن يصبح "دارون" تطور المادة.

كانت أول خطوة نحو التأويل الميكانيكي للأنطروبية هي إعادة إدخال تصور "صدم" الجزيئات أو الذرات إلى التوصيف الفيزيائي، ومعها إمكانية التوصيف الإحصائي. ولقد قام كلاوزيوس Clausius وماكسويل بهذه الخطوة، وحيث أن الصدمات هي حوادث منفصلة discrete فإنه يمكن عدّها وتقدير وسطي تواترها. ويمكننا أيضا تصنيف الصدمات – مثلاً التمييز بين صدمات

منتجة لجسيم ذا سرعة معطاة v وصدمات محطمة لجسيم بسرعة v منتجة لجزيئات بسرعات مختلفة (الصدم "المباشر" والصدم "العكسي")[١١].

كان السؤال الذي طرحه ماكسويل فيما إذا كان من الممكن تحديد حالة غاز بحيث أن الصدمات المستمرة التي تغير في سرعات الجزيئات لم تعد تعين أي تطور في *توزع* هذه السرعات - أي في العدد الوسطي لكل جسيمات لكل قيمة للسرعة. ما هو توزع السرعات بحيث أن تأثير الصدمات المختلفة سيتعادل compensate مع بعضه على مقياس العشيرة population؟

لقد برهن ماكسويل أن هذه الحالة الخاصة وهي حالة التوازن الترموديناميكي تحدث عندما يصبح توزع السرعات حسب المنحني المشهور جداً "ذا الشكل الجرسي"، المنحني "الغوصي"gaussian الذي اعتبره كواتليه Quetelet مؤسس الفيزياء الاجتماعية التعبير التام عن العشوائية. تسمح نظرية ماكسويل بإعطاء تأويل بسيط لبعض القوانين الأساسية التي تصف سلوك الغازات. إن زيادة درجة الحرارة تقابل ازدياداً في وسطي سرعة الجزيئات وبهذا زيادة في طاقة حركتها. ولقد تحققت التجارب من صحة قانون ماكسويل بدقة كبيرة وهو لا يزال يقدم أساساً لحل الكثير من المسائل في الكيمياء الفيزيائية (مثلاً حساب عدد الصدمات في مزيج متفاعل).

إلا أن بولتزمن أراد الذهاب أبعد من ذلك، لقد أراد توصيف ليس فقط حالة *التوازن* ولكن *التطور* نحو التوازن - أي التطور نحو التوزع الماكسويلي. أراد أن يكشف الآلية الجزيئية التي تقابل زيادة الأنطروبية، الآلية التي تقود المنظومة من توزع عشوائي للسرعات إلى التوازن.

وبصورة خاصة، فإن بولتزمن اقترب من السؤال عن التطور الفيزيائي ليس على مستوى المسارات الفردية بل على مستوى *عشيرة* من الجزيئات.

وهذا، كما شعر بولتزمن، كان حقيقة مشابه لمأثرة دارون، ولكن الآن في الفيزياء؛ إن القوة الدافعة خلف التطور البيولوجي _الاصطفاء الطبيعي - لا يمكن تعريفه لأجل فرد ولكن لأجل عشيرة كبيرة. وهو لذلك تصور إحصائي.

يمكن توصيف نتيجة بولتزمن بعبارات بسيطة نسبياً. إن تطور دالة التوزيع ($f(v ،t)$ للسرعات v في جزء من المكان وفي الزمن t يبدو كمجموع تأثيرين؛ إن عدد الجسيمات في أية لحظة معطاة t لها سرعات v يتغير كنتيجة للحركة الحرة للجسيمات ونتيجة للصدمات بينها حقاً. يمكن حساب النتيجة الأولى بسهولة بحدود الديناميك الكلاسيكي. وإن أصالة طريقة بولتزمن تقع في البحث في النتيجة الثانية الناتجة عن الصدمات. في وجه الصعوبات المتضمنة في اتباع المسارات (ومن ضمنها التفاعلات) استعمل بولتزمن تصورات شبيهة بالتي لخصناها في الفصل الخامس (فيما يتعلق بالتفاعلات الكيميائية) وبحساب العدد ***الوسطي*** للصدمات المكونة والمحطمة للجزيئات المقابلة لسرعة ما v.

وهنا مرة أخرى يوجد سيرورتان بنتائج متعاكسة –صدمات "مباشرة" تلك التي تنتج جزيئاً سرعته v بدءاً من جزيئين بسرعات v` وv''، وصدمات "معاكسة" التي يتم فيها تحطيم جزيء بسرعة v بصدمة بجزيء آخر بسرعة v". وكما في التفاعلات الكيميائية (أنظر الفصل الخامس الفقرة ١). إن تواتر حوادث كهذه يتم تقييمه على أنه متناسب مع حاصل ضرب عدد الجزيئات المشاركة في هذه السيرورات (بالطبع تاريخياً فإن طريقة بولتزمن (١٨٧٢) سبقت علم التحريك الكيميائي).

إن النتائج التي حصل عليها بولتزمن تشبه تماماً لتلك الناتجة عن سلاسل ماركوف. ومرة أخرى سندخل كمية H هذه المرة تشير إلى توزع السرعة f. يمكن كتابتها:

$$H = \int f \log f dv$$

ومرة أخرى فإن هذه الكمية لا يمكنها إلا أن تتناقص مع الزمن حتى الوصول إلى حالة توازن ويصبح توزع السرعة هو التوزع الماكسويلي للتوازن.

لقد تمت في السنوات الأخيرة عدة تحققات رقمية للتناقص المنتظم لـــ H مع الزمن. وكلها تؤيد تنبؤ بولتزمن. وحتى اليوم فإن معادلته الحركية تلعب دوراً هاماً في فيزياء الغازات: ويمكن حساب عوامل نقل transport coefficients كتلك التي توصف ناقليه الحرارة أو انتشارها بالتطابق التام مع معطيات التجربة.

إلا أن أعظم إنجازات بولتزمن كان من وجهة النظر التصورية: التمييز بين الظواهر العكوسة واللاعكوسة التي كما رأينا تقع في أساس القانون الثاني نقلتا الآن إلى المستوى الصغرى. إن تغير توزع السرعة الناتج عن الحركة الحرة يقابل الجزء العكوس بينما الإسهام الناتج عن الصدم يقابل الجزء اللاعكوس. وكان هذا بالنسبة لبولتزمن المفتاح للتأويل الصغرى للأنطروبية. لقد تم إنتاج مبدأ للتطور الجزيئي! ومن السهل فهم الافتتان الذي مارسه هذا الكشف على الفيزيائيين الذين تابعوا بولتزمن بمن فيهم بلانك وآينشتاين وشرودينغر(١٢).

لقد كان فتح بولتزمن خطوة حاسمة في توجيه فيزياء ***السيرورات***. لم يعد ما يحدد التطور الزمني في معادلة بولتزمن الهاملتونيان المعتمد على نمط القوى؛ والآن على العكس هو دوال تتعلق بالسيرورات (هي التي ستنتج حركة) – مثلاً مقطعاً للتشتت cross section of scattering– هل يمكننا أن نختم أن مسألة اللاعكوسة قد حلت وأن نظرية بولتزمن قد أرجعت الأنطروبية إلى الديناميك؟ الجواب واضح: كلا لم يتم ذلك. لنلق نظرة أقرب على هذا السؤال.

استجواب تأويل بولتزمن

بدأت الاعتراضات حالما ظهرت ورقة بولتزمن الأساسية سنة ١٨٧٢. هل "استنتج" بولتزمن فعلاً اللاعكوسية من الديناميك؟ كيف يمكن للقوانين العكوسة للمسارات أن تقود إلى تطور لاعكوس؟ هل تتفق معادلة بولتزمن الحركية بأي شكل مع الديناميك؟ إنه من السهل رؤية أن التناظر الموجود في معادلة بولتزمن يتعارض مع التناظر في الميكانيك الكلاسيكي.

لقد رأينا أن عكس السرعة $(v \to -v)$ ينتج في الديناميك الكلاسيكي نفس نتيجة عكس الزمن $(t \to -t)$. وهذا تناظر أساسي في الديناميك الكلاسيكي، وإننا نتوقع أن معادلة بولتزمن الحركية التي تصف التغير الزمني لدالة التوزيع ستشارك في هذا التناظر، ولكن هذا ليس هو الحال. إن حد الصدم الذي حسبه بولتزمن ***يبقى ثابتاً بالنسبة لعكس السرعة***، وهناك سبب فيزيائي بسيط لذلك: إذ لا يوجد شيء ما في صورة بولتزمن يميز بين صدم يتقدم نحو المستقبل وصدم يتقدم نحو الماضي، وهذا هو أساس اعتراض بوانكاريه على استنتاج بولتزمن. إن حساباً صحيحاً لا يمكن أن يقود أبدا إلى نتائج تناقض مقدمات هذه النتائج [١٣] و[١٤]. وكما رأينا فإن الخواص التناظرية للمعادلة الحركية تعارض التي في الديناميك، ولهذا فلم يكن ممكنا لبولتزمن أن "يستنتج" الأنطروبية من الديناميك. يجب أن يكون قد أدخل شيئاً جديداً، شيئاً غريباً عن الديناميك. وهكذا فإن نتائجه لا تمثل على الأفضل إلا نموذجاً ظواهرياً، الذي مهما كان مفيداً إلا أنه ليست له علاقة مباشرة بالديناميك. وكان هذا أيضاً اعتراض زرميلو Zermelo سنة ١٨٩٦ على بولتزمن.

أما اعتراض لوشميدت Loschmidt من جهة أخرى فإنه يجعل من الممكن تعيين ***حدود لصلاحية*** نموذج بولتزمن الحركي. في الواقع لاحظ لوشميدت ١٨٧٦ أن هذا النموذج لا يمكن أن يكون صحيحاً بعد عكس السرعات المقابلة للتحويل $v \to -v$.

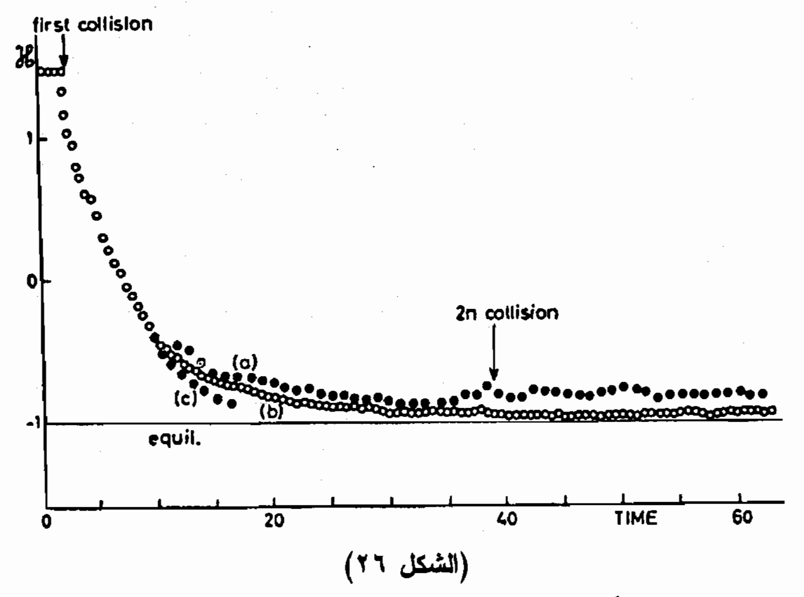
لنشرح ذلك بواسطة تجربة فكرية. نبدأ بغاز بحالة لا توازن ونتركه يتطور حتى t_0. ومن ثم نعكس السرعات. نعود المنظومة إلى حالتها الماضية. ونتيجة لذلك فإن أنطروبية بولتزمن هي نفسها في اللحظة $(t = 0)$ وفي اللحظة $(t = 2t_0)$.

ويمكننا القيام بالعديد من هذه التجارب الفكرية. لنبدأ بمزيج من الأوكسجين والهيدروجين؛ وبعد وقت سيظهر الماء. وإذا عكسنا السرعات فإنه يجب أن نرجع إلى الحالة الابتدائية، إلى أوكسجين وهيدروجين دون ماء.

ومن الممتع أنه يمكننا عكس السرعات في المخبر أوفي تجارب حاسوبية. فمثلاً في الشكلين ٢٦ و ٢٧ حسبت كمية بولتزمن H لأجل كرات صلبة في بعدين (قرصين صلبين) بادئين بأقراص على مواقع شبكية بتوزيع سرعات متناح isotropic. تتبع النتائج توقعات بولتزمن.

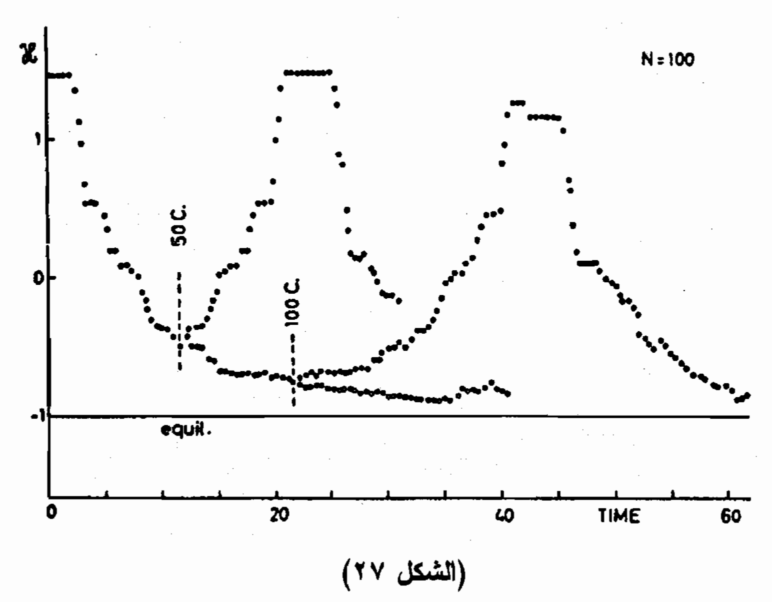
إذا عكست السرعات بعد خمسين أو مائة صدمة مقابلة لـ ١٠E-٦ثا في غاز مخفف deluteفإننا نصل إلى مجموعة جديدة[١٥]. والآن بعد عكس السرعات فإن كمية بولتزمن H تتزايد بدلاً من أن تتناقص.

ويمكن أن ينتج وضع مشابه في تجارب صدى سبين echo أو صدى بلاسما. وهنا نشاهد أيضاً في أزمنة محدودة سلوكاً "عكس ترموديناميكي" بمعنى بولتزمن.



(الشكل ٢٦)

تطور H مع الزمن لأجل N "كرات صلبة" بواسطة محاكاة حاسوبية حيث a تقابل لـ $N=$١٠٠ و(b) لـ $N=$٤٨٤ و(c) لـ $N=$١٢٢٥



(الشكل ٢٧)

تطور H عندما تعكس السرعات بعد ٥٠ أو ١٠٠ صدمة. المحاكاة مع ١٠٠ "كرة صلبة "

خلال البرهة الزمنية من الزمن ٠ وحتى t_0. يجب أن يكون هناك "خزن" للمعلومات. ويمكننا التعبير عن هذا الحزن بحدود ترابطات correlation بين الجسيمات. سنأتي على مسألة الترابطات في الفصل التاسع، ولنتذكر فقط أنه بالضبط هذه العلاقة بين الترابطات والصدمات هي العنصر المفقود في اعتبارات بولتزمن. وعندما واجهه لوشميدت بهذا كان على بولتزمن أن يقبل أنه ليس هناك من مخرج: الصدمات الحادثة في الاتجاه المعاكس "ستمحو" ما عمل سابقاً وعلى المنظومة أن تعود إلى حالتها الابتدائية.ولذلك على الدالة H أن تتزايد وحتى تصل مرة أخرى إلى قيمتها الابتدائية. وهكذا يستدعي عكس السرعة التمييز بين الحالات التي ينطبق فيها تعليل بولتزمن وتلك التي لا ينطبق.

وحين عرضت المسألة (١٨٩٤) كان من السهل تبين قصورها [١٦] [١٧]. إن صحة إجراء بولتزمن الإحصائي يقوم على افتراض أنه ***قبل*** الصدم فإن الجزيئات ***تتصرف باستقلال*** عن بعضها. وهذا يشكل فرضاً assumption يتعلق بالشروط الابتدائية ويدعى فرض "الشواش الجزيئي". إن الشروط الابتدائية الناتجة عن عكس السرعة لا تتفق وهذا الفرض. إذا أعيدت المنظومة "زمنياً إلى الخلف" فإنه سينشأ وضع جديد "شاذ" بمعنى أن بعض الجزيئات "مقدر عليها" أن تتلاقى في لحظة محددة سلفاً وأن تقوم بتغيير للسرعة محدد سلفاً في هذا الوقت، مهما كانت بعيدة عن بعضها لحظة عكس السرعة.

وهكذا فإن عكس السرعة ينتج منظومة عالية التنظيم، وهكذا ينهار فرض الشواش الجزيئي. إن الصدمات المختلفة تنتج كما لو كان بتنسيق مسبق سلوكاً ظاهر الهدفية.

ولكن هناك أكثر من ذلك. ماذا يعني الانتقال من النظام إلى الفوضى؟ من الواضح في تجربة اهرنفست_ أن المنظومة ستتطور حتى تصل إلى الانتظام. ولكن أوضاعاً أخرى ليست بهذا الوضوح؛ يمكننا أن نقوم بتجارب حاسوبية حيث تتوزع الجسيمات المتفاعلة ابتداء بشكل عشوائي. ومع الزمن تنشأ شبكة. هل لا نزال نسير من النظام إلى الفوضى؟ ليس الجواب واضحاً. ولفهم النظام والفوضى يجب أن نحدد الأشياء التي نستعمل لأجلها هذه التصورات. فالتحرك من أشياء الديناميك إلى الترموديناميك سهل في حالات الغازات الممددة delute كما يبدو من أعمال بولتزمن. إلا أن ذلك ليس بهذه السهولة في حالة المنظومات الكثيفة التي تتفاعل جزئياتها.

وبسبب كل هذه الصعوبات فإن إنجاز بولتزمن الخلاق والريادي بقي ناقصاً.

الديناميك والترموديناميك عالمان منفصلان

لقد لاحظنا سابقا أن المسارات لا تتوافق مع فكرة اللاعكوسية. إلا أن دراسة المسارات ليست هي الطريقة الوحيدة التي يمكننا فيها صياغة الديناميك. فهناك أيضاً نظرية المجموعات التي أدخلها جيبس (Gibbs) وآينشتاين (١٧) (١٨) والتي هي مهمة خاصة في حالة منظومات مكونة من عدد كبير من الجزيئات. إن العنصر الأساسي الجديد في نظرية المجموعات لجيبس-آينشتاين هو أنه يمكننا صياغة النظرية الديناميكية باستقلال عن أي تحديد للشروط الابتدائية.

تمثل نظرية المجموعات المنظومات الديناميكية في "فضاء الطور". وتحدد الحالة الديناميكية لجسيم نقطي بموضع position (متجهة مع مركباته الثلاثة)، وبعزم momentum (أيضاً بمتجهة مع مركباتها الثلاثة). ويمكن

تمثيل هذه الحالة بنقطتين كل منهما في فضاء ثلاثي الأبعاد، أو بنقطة واحدة في فضاء سداسي الأبعاد مُشكَّل من إحداثيات الموضع والعزم، وهذا هو فضاء الطور. ويمكن تعميم هذا التمثيل الهندسي ليشمل منظومة عشوائية مكونة من n جسيم. ويلزمنا حينذاك (n*٦) عددا لكي نحدد حالة المنظومة، أو يمكننا تحديد المنظومة بنقطة في فضاء طور من ٦n بعد. ويمكن حينئذ توصيف تطور منظومة كهذه تبعاً للزمن بمسار في فضاء الطور.

لقد ذكرنا سابقاً أن الشروط الابتدائية الدقيقة لمنظومة جهرية غير معروفة مطلقاً. إلا أنه لاشيء يمنعنا من ***تمثيل*** هذه المنظومة "بمجموعة" نقاط -أي النقاط المقابلة للحالات الديناميكية المختلفة المتوافقة مع المعلومات التي لدينا عن المنظومة. ويمكن لكل منطقة من فضاء الطور أن تحوي عدداً لانهائياً من نقاط التمثيل، التي تقيس كثافتها احتمال تواجد المنظومة في هذه المنطقة. وبدلاً من إدخال عدد لانهائي من النقاط المنفصلة، فإنه من المناسب أكثر إدخال كثافة مستمرة لنقاط تمثيل في فضاء الطور. وسندعو هذه الكثافة $\rho(q_1...q_{3n}, p_1....p_{3n})$ حيث $(q_1, q_2....q_{3n})$هي إحداثيات النقاط n؛ كذلك $p_1, p_2..., p_{3n}$ هي عزوم هذه النقاط (لكل نقطة ثلاثة إحداثيات موضع وثلاثة أحداثيات عزوم). وتقيس هذه الكثافة احتمال تواجد منظومة ديناميكية حول النقطة $(q_1, q_2....q_{3n})$ $p_1, p_2..., p_{3n}$ في فضاء الطور.

ويمكن أن تبدو دالة الكثافة ρ من خلال هذا التمثيل على أنها نوع من البنية المثالية والمصطنعة بينما يقابل "مباشرة" مسار نقطة في فضاء الطور توصيفاً لسلوك "طبيعي". ولكن في الواقع النقطة وليست الكثافة هي التي تقابل التمثيل المثالي idealization. إننا في الحقيقة لا نعرف أبداً حالة ابتدائية بدرجة دقة لانهائية والتي تُرجِع منطقة من فضاء الطور

إلى نقطة مفردة. يمكننا فقط تحديد مجموعة مسارات تبدأ من مجموعة مـــن النقاط الممثلة والمقابلة لما نعرفه عـــن الحالة الابتدائية للمنظومة. وتمثل دالة الكثافة ρ معرفة عن المنظومة، وكلما كانت المعرفة دقيقة كلما كانت المنطقة أصغر في فضاء الطور وحيث دالة الكثافة مختلفة عن الصفر وحيث يمكن للمنظومة أن توجد. إذا كان لدالة الكثافة قيمة منتظمة فـــي كـــل مكـــان ، فإنه عندئذ لـــن تكون لدينا أية معلومات عـــن حالة المنظومة، ويمكنها أن تكون فـــي أية حالة ممكنة متوافقة مع بنيتها الديناميكية.

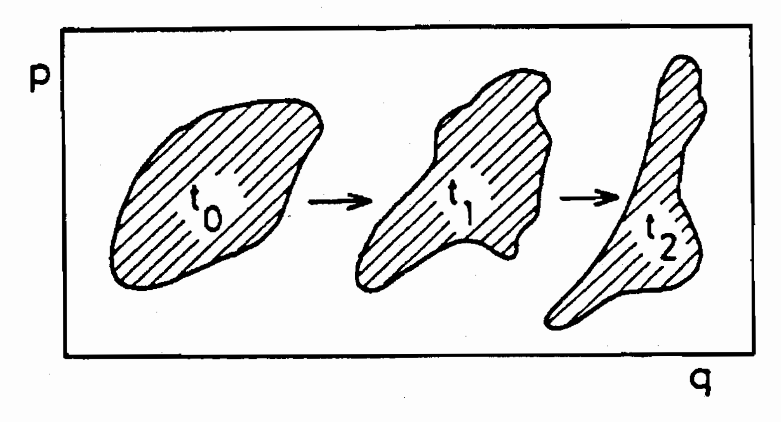
مـــن هذا المنظور فإن أية نقطة تمثل ***المعرفة الأعظمية*** ***maximum knowledge*** التي يمكن أن تكون لدينا عن المنظومة. إنها نتيجة سيرورة تناه، نتيجة تزايد متنام لدقة معرفتنا. وكما سنرى في الفصل التاسع فإن المشكلة الأساسية هي في تعيين متى يمكن لسيرورة متناهية أن تكون ممكنة. ومن خلال دقة متنامية فإن هذه السيرورة تعني أننا نذهب من منطقة حيث دالة الكثافة ρ مختلفة عن الصفر إلى أخرى أصغر داخل المنطقة الأولى. ويمكننا المتابعة في هذا حتى تصبح المنطقة الحاوية على المنظومة صغيرة قدر ما نريد. ولكن كما سنرى يجب أن نكون حذرين: صغيرة قدر ما نريد لا تعني صفراً وليس هناك من ثقة قبلية أن سيرورة التناهي هذه ستقود إلى إمكانية توقع مسار مفرد معرف بشكل جيد.

كان تقديم نظرية المجموعات لجبس وآينشتاين استمراراً طبيعيا لأعمال بولتزمن. ومن هذا المنظور فإن دالة الكثافة ρ في فضاء الطور تحل محل دالة توزع السرعات f التي استعملها بولتزمن. إلا أن المحتوى الفيزيائي لـــ ρ يتجاوز ذاك الذي لـــ f. ρ مثل f تحدد توزع

السرعة ولكنها تحوي أيضاً معلومات أخرى مثل احتمال لقاء جسيمين على مسافة معينة من بعضهما.وبخاصة فإن الترابطات بين الجسيمات التي بحثناها في الفقرة السابقة هي الآن محتواة في دالة الكثافة ρ. وفي الواقع فإن هذه الدالة تحوي المعلومات الكاملة عن الخواص الإحصائية لمنظومة -n جسيم.

علينا الآن وصف تطور دالة الكثافة في فضاء الطور. يبدو هذا للوهلة الأولى وكأنه عمل أكثر طموحاً من ذلك الذي قرر بولتزمن أن يقوم به بالنسبة لدالة توزع السرعة. ولكن هذه ليست هي الحالة. تسمح لنا معادلات الهاملتونيان التي بحثناها في الفصل الثاني بالحصول على معادلة تطور دقيقة لـــ ρ دون أية تقريبات إضافية. وهذه هي ما يسمى بمعادلة ليوفيل Liouvilleوالتي سنعود إليها في الفصل التاسع. نريد أن نشير هنا فقط إلى أن خواص الديناميك الهاملوتوني تتضمن أن تطور دالة الكثافة ρ في فضاء الطور هي تلك التي ***لسائل غير انضغاطي*** incompressible fluid. متى احتلت نقاط التمثيل منطقة حجميه (V) من فضاء الطور، فإن هذا الحجم يبقى ثابتاً مع الزمن. ويمكن لشكل هذا الحجم أن يتشوه بأية طريقة عشوائية ولكن قيمة الحجم تبقى نفسها.

وهكذا تسمح لنا نظرية جيبس للمجموعات بتوفيق دقيق لوجهة النظر الإحصائية (دراسة العشيرة population الموصوفة بـــ ρ) وقوانين الديناميك. وهي تسمح أيضاً بتمثيل أكثر دقة لحالة التوازن الترموديناميكي. وهكذا في حالة منظومة معزولة فإن مجموعة النقاط الممثلة تقابل منظومات لها نفس الطاقة E.



(الشكل ٢٨)

التطور الزمني في فضاء الطور"لحجم"حاوٍ لنقاط ممثلة لمنظومة: يبقى الحجم منحفظاً بينما يتغير الشكل. الموضع في فضاء الطَور محدد بإحداثيات موضع q وعزم p.

إن الكثافة ρ ستختلف عن الصفر فقط على "السطح القياسي الصغري" المقابل للقيمة المحددة للطاقة في فضاء الطور. ابتداء قد تكون الكثافة موزعة بشكل عشوائي على هذا السطح. ولكن يجب أن لا تتغير مع الزمن عند التوازن ويجب أن تكون مستقلة عن الحالة الابتدائية الخاصة. وهكذا فإنه للاقتراب من التوازن معنى بسيط بحدود تطور ρ. تصبح دالة التوزيع ρ منتظمة على السطح القياسي الصغري، وكل نقطة على هذا السطح لها نفس الاحتمال لتمثيل المنظومة فعلياً. وهذا يقابل "مجموعة صغرية قياسية " microcanonical ensemble.

هل تقربنا نظرية المجموعات أكثر من الحل لمسألة اللاعكوسية؟ تُوصِّف نظرية بولتزمن الانطروبية الترموديناميكية بحدود دالة التوزيع f. ولقد أنجز هذه النتيجة بإدخال كمية H. وكما رأينا فإن المنظومة تتطور في الزمن حتى تصل إلى توزيع ماكسويل بينما تتناقص الكمية H خلال هذا التطور. هل يمكننا الآن بشكل أكثر عمومية أن نعتبر تطور التوزيع ρ في فضاء الطور نحو المجموعة

الصغرية القياسية أساساً لتزايد الأنطروبية؟ هل يكفي أن تحل محل كمية بولتزمن H كما هي معبر عنها بحدود الدالة f بالكمية " الجبسية" [نسبة إلى جيبس] H_G معرفة بنفس الطريقة بحدود ρ؟ للأسف فإن الجواب علىالسؤالين هو "كلا". إذا استعملنا معادلة ليوفيل التي توصف تطور كثافة فضاء الطور ρ آخذين بالاعتبار انحفاظ الحجم في فضاء الطور الذي ذكرناه فإن النتيجة هي فورية: H_G هي ثابتة، وهكذا فهي لا يمكن أن تمثل الانطروبية. تبدو هذه بالنسبة لبولتزمن خطوة إلى الوراء أكثر منها خطوة إلى الأمام!

ومع أن الجواب سلبي إلا أن نتيجة جيبس تبقى مهمة جداً. لقد ناقشنا سابقاً ***غموض أفكار النظام والفوضى***. ما يخبرنا عنه ثبات H_G هو أنه ليس هناك من أي تغيير في النظام في إطار نظرية الديناميك! تبقى "المعلومة" المعبر عنها بـــ H_G ثابتة. ويمكن فهم هذا كالتالي: لقد رأينا أن الصدمات تدخل ارتباطات. ومن منظور السرعات فإن نتائج الصدمات هو تخبط عشوائي randomization لهذا يمكننا توصيف هذه السيرورة على أنها انتقال من نظام إلى فوضى ولكن ظهور الارتباطات كنواتج عن الصدم تشير إلى الاتجاه المعاكس، إلى انتقال من الفوضى إلى النظام! ونتيجة جيبس تظهر أن العمليتين تلغي إحداهما الأخرى.

وهكذا نصل إلى نتيجة هامة: مهما كان التمثيل الذي نستخدمه أكان فكرة مسارات أم نظرية مجموعة جيبس -اينشتاين فإننا لن نستطيع إطلاقاً أن نستنتج نظرية للسيرورات اللاعكوسة تكون صحيحة لكل منظومة تحقق قوانين الديناميك أو الكم. ولا توجد حتى طريقة للكلام عن انتقال من نظام إلى فوضى! كيف علينا أن نفهم هذه النتائج السلبية؟ هل أن أية نظرية للسيرورات اللاعكوسة هي في تعارض مطلق مع الديناميك (كلاسيكي أو كمومي)؟ لقد

اقترح كثيراً أن تحوي بعض الحدود الكونية التي تعبر عن تأثير تمدد الكون على معادلات الحركة. وستعطي الحدود الكونية cosmological terms في النهاية سهماً للزمن. إلا أنه يصعب قبول هذا. ومن جهة ليس من الواضح كيف سنضيف هذه الحدود الكونية؛ ومن جهة أخرى فإن تجارب ديناميكية دقيقة تلغي أي احتمال لوجود حدود كهذه على الأقل على المقياس الأرضي الذي نهتم به هنا (فَكِّرْ مثلاً في تجارب فضائية تؤكد على قوانين نيوتن بدقة كبيرة). ومن جهة أخرى كما ذكرنا سابقاً فإننا نعيش في كون متعدد تتواجد فيه سيرورات عكوسة ولاعكوسة وكلها متوضعة في كون متمدد.

وهناك نتيجة أكثر جذرية وهي أن نؤكد مع آينشتاين أن الزمن اللاعكوس هو وهم لن يجد له مكاناً في عالم الفيزياء الموضوعية. ولحسن الحظ هناك مخرج سنبحث فيه في الفصل التاسع. اللاعكوسية كما ذكرنا كثيراً ليست خاصية عمومية. لهذا ليس من المتوقع أن نجد لها استنتاجاً عاماً من الديناميك.

تُدخِلُ نظرية جيبس للمجموعات عنصراً إضافياً وحيداً فقط بالنسبة لديناميك المسارات ولكنه عنصر هام –وهو جهلنا للشروط الابتدائية الدقيقة. ومن غير المحتمل أن يقودنا هذا الجهل وحده إلى اللاعكوسية.

لهذا يجب أن لا نندهش من إخفاقنا. لم نضع بعد الملامح الخاصة التي يجب على منظومة ديناميكية أن تتصف بها لكي تقود إلى سيرورات لاعكوسة.

لماذا قبل كثير من الفيزيائيين بتسرع التأويل الذاتي للاعكوسية؟ ربما كان جزء من جاذبيته يكمن في واقعة أنه كما رأينا ازدياد الأنطروبية اللاعكوس كان متعلقا في البداية بمنابلتنا الغير دقيقة وبنقص تحكمنا في العمليات التي هي مثالياً عكوسة.

ولكن هذا التأويل يصبح سخيفاً حالماً نضع جانبا التعلقات الواهية بمسائل التقنية. يجب أن نتذكر الإطار الذي أعطى القانون الثاني مغذاه على أنه سهم زمن الطبيعة. وحسب التأويل الذاتي فإن العلاقة الكيميائية، والناقلية الحرارية واللزوجة وكل الخواص المتعلقة بإنتاج الأنطروبية اللاعكوس تعتمد على المراقب. بالاضافة إلى ذلك إن مدى الدور الذي تلعبه ظاهرة التنظيم الناشئة عن اللاعكوسية في البيولوجية تجعل من المستحيل النظر إليها على أنها أوهام ناتجة عن جهلنا. هل نحن أنفسنا -الكائنات الحية القادرة على الملاحظة والمنابلة - إلا خيالات ناتجة عن نقص في حواسنا؟ هل التمييز بين الحياة والموت هو وهم؟

ولقد زادت التطورات الحديثة في نظرية الترموديناميك من حدة الصراع بين الديناميك والترموديناميك. بدت المحاولات لإرجاع نتائج الترموديناميك إلى مجرد تقريبات ناتجة عن نقص في معرفتنا معاندة عندما فُهِم الدور البناء للأنطروبية وأُكتشِفَتْ إمكانية تكبير التأرجحات. وبالعكس فإنه من الصعب رفض الديناميك باسم اللاعكوسية: لا توجد هناك لاعكوسية في حركة نواس مثالي. هناك على ما يظهر عالمان متنازعان، عالم المسارات وعالم السيرورات، ولا توجد هناك طريقة لرفض أحدهما عن طريق تأكيد الآخر.

هناك تشابه إلى حد ما بين هذا الصراع والصراع الذي انتج المادية الديالكتيكية. لقد ذكرنا سابقاً في الفصلين الخامس والسادس طبيعة يمكن أن تدعى "تاريخية" - أي قابلة للتطور والتجديد. إن فكرة تاريخ للطبيعة كجزء أساسي من المادية قد تم التأكيد عليه من قبل ماركس و مع تفصيل أكثر من قبل انجلز. إن التطورات الأخيرة في الفيزياء واكتشاف الدور البناء الذي لعبته اللاعكوسة قد أدى إلى بروز سؤال داخل العلوم الطبيعية قد تم طرحه منذ زمن من قبل الماديين. بالنسبة لهم إن فهم الطبيعة يعني فهمها على أنها قابلة لأن تنتج الإنسان ومجتمعاته.

بالإضافة إلى ذلك في زمن تأليف انجلز لكتابه ديالكتيكيات الطبيعة Dialectics of Nature بدت العلوم الفيزيائيةو كأنها قد رفضت المنظور الميكانيكي للطبيعة واقتربت أكثر من فكرة تطور تاريخي للطبيعة، ويذكر انجلز ثلاثة اكتشافات أساسية: الطاقة، القوانين التي تحكم تحولاتها الكيفية والخلية كمكون أساسي للحياة، واكتشاف دارون لتطور الأنواع، وتوصل انجلز نتيجة منظور هذه المكتشفات إلى أن المنظور الميكانيكي للطبيعة قد مات.

ولكن بقيت الميكانيكية هي الصعوبة الأساسية التي واجهتها المادية الديالكتيكية. ما هي العلاقات بين القوانين العامة للديالكتيك والقوانين العامة أيضاً للحركة الميكانيكية؟ هل هذه الأخيرة "تتوقف" عن الانطباق بعد الوصول إلى مرحلة معينة، أو هل هي ببساطة على خطأ أو غير كاملة؟ وبالرجوع إلى سؤالنا كيف يمكن لعالم السيرورات وعالم المسارات أن يتم ربطهما معاً؟[١٩]

ومع أنه من السهل نقد التأويل الذاتي للاعكوسية والإشارة إلى نقاط ضعفه، إلا أنه من السهل تجاوزه وصياغة نظرية "موضوعية" لليسرورات اللاعكوسة. وتاريخ هذا الموضوع يحمل في طياته بعض المعاني الأخرى الدراماتيكية. ويعتقد الكثيرون أن التعرف على هذه الصعوبات الأساسية هو ما يمكن أن يكون قد أدى ببولتزمن إلى الانتحار سنة ١٩٠٦.

بولتزمن وسهم الزمن

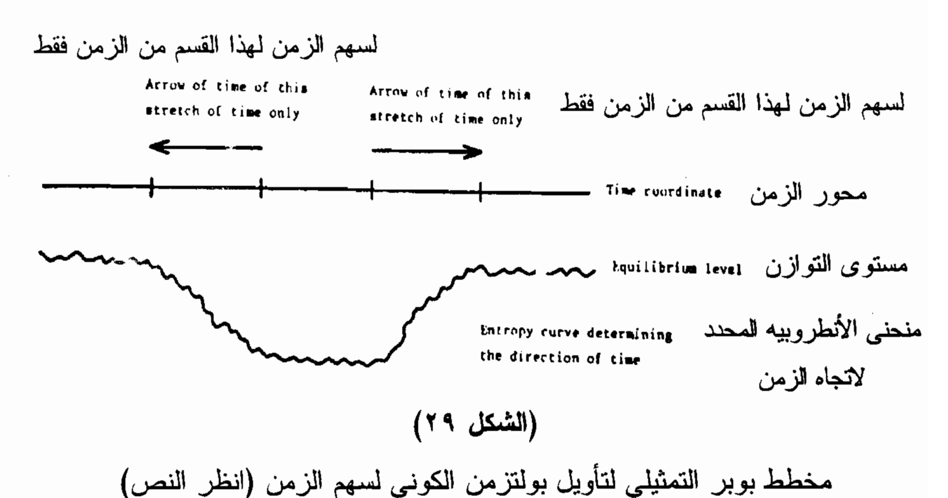
كما لاحظنا فإن بولتزمن ظن أولاً أنه يمكنه أن يبرهن أن سهم الزمن كان محدداً بتطور المنظومات الديناميكية نحو حالات أعلى احتمالاً أو لها عدد أكبر من العقديات: سيكون هناك ازدياد في عدد العقديات ذو اتجاه وحيد مع الزمن. كما أننا ناقشنا اعتراضات بوانكاريه وزرميلو. برهن بوانكاريه أن كل منظومة ديناميكية مغلقة تعود بالزمن نحو حالتها الأولية. وهكذا فكل

الحالات تتكرر إلى الأبد. كيف يمكن لشيء مثل"سهم الزمن" أن يكون متعلقاً بالأنطروبية؟ وأدىهذا إلى تغيير درامي في موقف بولتزمن. فلقد تخلى عن محاولته لإثبات أن هناك سهماً موضوعياً للزمن وأدخل بدلاً من ذلك فكرة أرجعت بمعنى ما قانون ازدياد الأنطروبية إلى إسهاب tautology وناقش أن سهم الزمن هو توافق convention ندخله نحن (أو ربما كل الكائنات الحية) إلى عالم حيث ليس هناك فرق موضوعي بين الماضي والمستقبل. لنذكر جواب بولتزمن إلى زرميلو:

لدينا خيار بين نوعين من الصور. إما أن نفترض أن الكون كله هو في اللحظة الراهنة هو في حالة غير ممكنة بتاتاً. أو أن نفترض أن الأحقاب التي ستدوم خلالها هذه الحالة الغير محتملة تنتهي وأن المسافة من هنا إلى النجم سيريوس هي صغيرة إذا قورنت بعمر وحجم الكون بأجمعه. في كون كهذا، والذي هو في حالة توازن حراري ككل ولهذا فهو ميت، فإن مناطق نسبياً صغيرة بحجم مجرتنا تتواجد هنا وهناك مناطق (يمكن أن ندعوها "عوالم") تنحرف بشكل واضح عن حالة التوازن الحراري لفترات نسبياً قصيرة من هذه الأحقاب من الزمن. بين هذه العوالم فإن احتمالات حالتها (أي الانطروبية) ستزداد كما ستنقص. لا يمكن تمييز الاتجاهين الزمنين في الكون ككل كما أنه في الفراغ ليس هناك من "فوق" و"تحت". إلا أنه كما أننا في مكان على الأرض نذكر "تحت" على أنه اتجاه نحو مركز الأرض، وهكذا فإن عضوية حية تجد نفسها في عالم كهذا في فترة زمنية معينة يمكنها أن تعرف "اتجاه" الزمن على أنه الانتقال من حالة أقل احتمالاً إلى حالة أكثر احتمالاً (ستدعى الأولى "الماضي" والأخيرة "المستقبل") وبسبب هذا التعريف سيجد أن منطقته الصغيرة المعزولة عن باقي الكون هي "ابتداء" دوماً في حالة غير محتملة. يبدو لي أن هذه الطريقة في النظر إلى

الأشياء هي الوحيدة التي تسمح لنا بفهم صحة القانون الثاني والموت الحراري لكل عالم فردي دون استحضار تغير ذي اتجاه وحيد للكون بأكمله من حالة ابتدائية معينة إلى حالة ثانية[٢٠].

يمكن توضيح فكرة بولتزمن بالإشارة إلى المخطط الذي اقترحه كارل بوبر (الشكل ٢٩) وسيكون سهم الزمن عرفياً كما هو الاتجاه العمودي المحدد بحقل الثقالة.



(الشكل ٢٩)

مخطط بوبر التمثيلي لتأويل بولتزمن الكوني لسهم الزمن (انظر النص)

وكتب بوبر معلقاً على نص بولتزمن:

أظن أن فكرة بولتزمن مدهشة بجرأتها وجمالها. ولكنني أظنها لا يمكن الدفاع عنها على الأقل بالنسبة لشخص واقعي. إنها تصف التغير الوحيد الاتجاه بالوهم وهذا ما يجعل من كارثة هيروشيما وهماً. وهكذا فهي تجعل من عالمنا وهماً، ومعه كل محاولاتنا لأن نعرف أكثر عن عالمنا. ولذلك فإنها (ككل المثاليات) تناقض نفسها. إن فرضية بولتزمن المثالية وذات الهدف تصطرع مع فلسفته الخاصة الواقعية والمناهضة بحماس للمثالية، ولرغبته العارمة بالمعرفة[٢١].

إننا نتفق تماماً مع تعليقات بوبر وإننا نعتقد أن حان الوقت لمعالجة عمل بولتزمن مرة أخرى. وكما قلنا لقد رأى القرن العشرين ثورة تصورات كبيرة في الفيزياء النظرية، وهذا أنعش آمالاً جديدة لتوحيد الديناميك والترموديناميك. إننا ندخل عصراً جديداً في تاريخ الزمن عصراً يمكن فيه دمج الكينونة والصيرورة في منظور وحيد غير متناقض.

الفصل التاسع

اللاعكوسية - حاجز الانطروبية

الانطروبية وسهم الزمن

وصفنا في الفصل السابق بعض الصعوبات في النظرية الصغرية (الميكروية) للسيرورات اللاعكوسة، والتي لا يمكن لعلاقتها بالديناميك الكلاسيكي أو الكمومي أن تكون بسيطة، بمعنى أن العكوسية وزيادة الانطروبية المصاحبة لها لا يمكن أن تكونا نتيجة عامة للديناميك. إن نظرية صغرية للسيرورات اللاعكوسة ستتطلب شروطاً إضافية أكثر تخصيصاً. وعلينا أن نقبل عالماً متعدداً تتواجد فيه السيرورات العكوسة واللاعكوسة، إلا أن تَقَبُّلَ عالم متعدد كهذا ليس سهلاً.

كتب فولتير في *قاموسه الفلسفي* *Dictionnaire Philosophique* عن القدر ما يلي:

".... كل شيء محكوم بقوانين ثابتة.... كل شيء مرتب مسبقاً... كل شيء هو أثر ضروري... يخاف الكثير من الناس من هذه الحقيقة فيقبلون نصفها، كالمدينين يدفعون لدائنيهم نصف دينهم ويطلبون إمهالهم لدفع النصف الباقي. ويقولون أن هناك حوادث ضرورية وأحداثاً ليست كذلك. سيكون غريباً إذا كان جزءٌ مما يحدث وُجب عليه أن يحدث وجزءٌ آخر ليس كذلك .... يجب أن

يكون لدي الحماس لأكتب هذا ويجب أن يكون لديك الحماس لأن تحكم علي؛ كلانا غبي، وكلانا لُعَبٌ في يد القدر. طبيعتك هي أن تفعل الشر، وطبيعتي أن أحب الحقيقة وأن أنشرها بالرغم منك[١]."

مهما كانت هذه المناقشة الفعلية تبدو مقنعة إلا أنها تضيعنا. إن تعليلات فولتير نيوتونية: الطبيعة دوماً متسقة مع ذاتها. ولكننا من العجيب أننا نجد أنفسنا اليوم في العالم الغريب الذي سخر منه فولتير؛ إننا نعجب باكتشاف التنوع النوعي الذي تبديه الطبيعة.

ليس من الغريب أن الناس تأرجحوا بين هذين الأقصيين extremes ؛بين حذف اللاعكوسية من الفيزياء الذي دافع عنه آينشتاين كما ذكرنا [٢]، و بين التأكيد على أهمية اللاعكوسية كما في فكرة وايتهد عن السيرورة. لا يوجد شك أن اللاعكوسية تتواجد على المستوى الكبري ولها دور بنّاء مهم كما رأينا في الفصل الخامس والسادس. ولهذا يجب أن يكون هناك شيء ما في العالم الصغري يكون له هذا المظهر اللاعكوس في العالم الكبري.

على النظرية الصغرية أن تعلل ترابط عنصرين بشكل وثيق. علينا أولاً أن نتابع بولتزمن في محاولته بناء نموذج صغري للأنطروبية (دالة بولتزمن H) والذي يتغير بانتظام مع الزمن، وعلى هذا التغير أن يعين سهمنا الزمني، على زيادة الانطروبية للمنظومات المعزولة أن تُعبِّر عن هرم المنظومة (عن تقدم المنظومة في العمر).

كثيراً ما يكون لدينا سهمٌ للزمن دون أن نستطيع تعليق الانطروبية بنوع من السيرورات المعتبرة. ويعطي بوبر مثالاً بسيطاً لمنظومة تُظهر سيرورةً ذات اتجاه وحيد وبالتالي سهماً للزمن.

لنفترض أنه أُخذ فيلم لسطح ماء كبير ساكن مبدئياً وقد أُلقيت فيه حجرة. إذا عكسنا الفيلم فإننا سنرى موجات دائرية تتقلص بسعة amplitude متزايدة، بالإضافة إلى ذلك فوراً وبعد أعلى قمة موجة تتواجد منطقة مستديرة من الماء الساكن ستنغلق نحو المركز. لا يمكن اعتبار هذه السيرورة سيرورةً ممكنةً كلاسيكياً، إنها تتطلب عدداً كبيراً من مولدات الموجات المتسقة بحيث، كما يرى في الفيلم، تفسر ظهور الموجات من المركز. وهذا يبرز تماماً المشكلة ذاتها من جديد إذا أردنا عكس تشغيل الفيلم المصحح[٣].

في الواقع مهما كانت الوسائل التقنية المستعملة سيكون هناك دوماً مسافة عن المركز لا يمكننا بعدها أن نولد موجة متقلصة. هناك سيرورات ذات اتجاه وحيد، ويمكن تخيل العديد من السيرورات من نمط المثال الذي قدمه بوبر: لا نرى أبداً طاقة آتية من كل الاتجاهات لتتجمع في نجم مع التفاعلات النووية التي تمتص هذه الطاقة.

بالإضافة إلى ذلك يوجد سهام أُخرى للزمن –مثلاً السهم الكوني (أنظر الرواية الممتعة لـــ م.غاردنر M.Gardner [٤]. إذا افترضنا أن الكون بدأ بانفجارٍ كبير Big Bang فإن هذا يعني بوضوح نظاماً زمنياً على المستوى الكوني. ويتابع حجم الكون في التوسع ولكننا لا نستطيع مماهاة قطر الكون مع الانطروبية. في الواقع كما ذكرنا سابقاً فإننا نجد داخل الكون المتمدد سيرورات عكوسة وأخرى لاعكوسة. وبالمثل نجد في فيزياء الجسيمات الأولية سيرورات تُبدي ما يدعى بكسر T. إن كسر T يعني أن المعادلات التي تُوصِّفُ تطور المنظومة لأجل t_+ هي مختلفة عن تلك التي لـــ t-. إلا أن كسر T لا يمنعنا أن نحويها في الصياغة المعتادة (الهاملتونية) للديناميك. لا يمكن تعريف دالة للأنطروبية كنتيجة لكسر T.

يذكرنا هذا بالنقاش الشهير بين آينشتاين وريتز Ritz والمنشور سنة ١٩٠٩، وهي ورقة غير عادية قصيرة جداً لا تتجاوز الصفحة المطبوعة، وهي ببساطة بيان عدم اتفاق. لقد ناقش آينشتاين أن اللاعكوسة هي نتيجة لتصور الاحتمالات الذي أدخله بولتزمن، وعلى العكس ناقش ريتز أن التمييز بين الأمواج المتقدمة والأمواج المتراجعة يلعب دوراً أساسياً، وهذا التمييز يذكرنا بمناقشة بوبر. فالأمواج التي نراقبها في البحيرة هي أمواج متراجعة تتبع سقوط الحجر.

لقد أدخل آينشتاين وريتز عناصر أساسية إلى نقاش اللاعكوسية، ولكن أكد كل واحد منهما على جانب من القصة. لقد ذكرنا سابقاً في الفصل الثامن أن الاحتمالات تفترض مسبقاً اتجاهاً للزمن ولذلك لا يمكن استعمالها لاستنتاج سهم للزمن. كما ذكرنا أيضاً إن استثناء بعض السيرورات مثل الأمواج المتقدمة لا يقود بالضرورة إلى صياغة القانون الثاني؛ إننا بحاجة لكلا النمطين من النقاش.

اللاعكوسية كخرق للتناظر

قبل مناقشة مسألة اللاعكوسية من المفيد أن نتذكر كيف يمكن استنتاج خرق آخر للتناظر وهو خرق التناظر الفراغي. في المعادلات التي تُوصِّف منظومات تفاعل- انتشار يلعب اليسار واليمين ذات الدور (تبقى معادلات الانتشار ثابتة عندما نعكس الفراغ r بـــ -r). مع ذلك فإنه كما رأينا يمكن للتفريعات bifurcations أن تقود إلى حلول حيث يتم خرق هذا التناظر (ارجع للفصل الخامس) فمثلاً تركيز بعض المكونات يمكن أن يصبح أعلى على اليسار منه على اليمين. وتناظر المعادلات يتطلب فقط أن تظهر حلول خرق التناظر مزدوجة in pairs.

بالطبع هناك الكثير من معادلات تفاعل الانتشار التي لا تبدي تفريعات وهي لهذا لا تستطيع خرق التناظر الفراغي. إن خرق التناظر الفراغي يتطلب شروطاً أخرى عالية الخصوصية، وهذا قيّم لفهم خرق التناظر الزمني الذي نهتم به هنا أساساً. علينا أن نجد منظومات حيث معادلات الحركة فيها يمكن أن تحقق ***تناظراً أخفض*** ***lower symmetry***.

في الواقع إن المعادلات ثابتة بالنسبة لعكس الزمن($t \to -t$) إلا أن تحقق هذه المعادلات يمكن أن يقابل تطورات تفقد هذا التناظر. إن الشرط الوحيد الذي يفرضه التناظر على هذه المعادلات هو أنه على تحققات هذه المعادلات أن تظهر مزدوجة. إذا وجدنا حلاً يتجه إلى التوازن في المستقبل البعيد (وليس في الماضي البعيد) علينا أن نجد أيضاً حلاً يتجه إلى التوازن في الماضي البعيد (وليس في المستقبل البعيد)، تظهر حلول خرق التناظر مزدوجة.

ومتى وجدنا وضعاً كهذا يمكننا حينئذ التعبير عن المعنى الأصيل للقانون الثاني، ويصبح مبدأ اصطفاء ينص على أن واحداً فقط من نمطي الحل يمكن تحقيقه أو يمكن مشاهدته في الطبيعة، وعندما يكون ممكناً تطبيقه فإن القانون الثاني يعبر عن استقطاب أصيل في الطبيعة، لا يمكن أبداً أن يكون ناتجاً عن الديناميك ذاته. يجب أن يظهر على أنه مبدأ اصطفاء إضافي الذي عندما يتحقق ينشره الديناميك. منذ عدة سنوات فقط كانت تبدو مستحيلة محاولة برنامج كهذا. إلا أنه خلال العقود القليلة الماضية تقدم الديناميك بشكل ملحوظ ويمكننا الآن الفهم المفصل لكيفية ظهور هذه الحلول الخارقة للتناظر في منظومات ديناميكية "ذات تعقيد كاف".ماذا تعني قاعدة الاصطفاء كما عبر عنها القانون الثاني للترموديناميك على المستوى الصغري، وهذا ما نريد بيانه في الجزء القادم من هذا الفصل.

حدود التصورات الكلاسيكية

لنبدأ بالميكانيك الكلاسيكي. كما ذكرنا سابقاً، إذا كان للمسار أن يكون العنصر الأساسي الغير قابل للإرجاع فإن العالم سيكون عكوساً كالمسارات التي يتكَّون منها. لن تتواجد أنطروبية ولا سهم للزمن في هذا التوصيف ؛ ولكن وكنتيجة لتطورات حديثة غير متوقعة، فإن صحة تصور المسار تبدو أكثر محدودية مما يمكن أن نتوقع. لنعد إلى نظرية جيبس_آينشتاين للمجموعات المقدمة في الفصل الثامن. لقد رأينا أن جيبس وآينشتاين أدخلا فراغ الطور إلى الفيزياء لتعليل حقيقة أننا لا "تعرف" الحالة الابتدائية للمنظومات المكَّونة من عدد كبير من الجسيمات. وبالنسبة لهما فإن دالة التوزيع في فراغ الطور كان بناءً مساعداً يعبر عن جهلنا الفعلي للموقف الذي كان محدداً تماماً حُكماً. إلا أن المسألة بمجملها تأخذ أبعاداً جديدة متى أمكن إظهار أنه لبعض أنماط المنظومات فإن تحديداً لا متناه الدقة للشروط الابتدائية يقود إلى إجراء متناقض مع ذاته. ومتى كان ذلك هو الوضع، فإن حقيقة أننا لن نعرف أبداً مساراً مفرداً ولكن مجموعة مسارات في فضاء الطور ليست إلا تعبيراً عن حدود في معرفتنا. إنها تصبح نقطة انطلاق لطريقة جديدة في البحث في الديناميك.

من الصحيح أنه لا إشكال في الحالات البسيطة. فلو أخذنا مثال نواس، إنه يمكن أن يهتز أو يدور حول محوره حسب الشروط الابتدائية. لكي يدور يجب أن تكون طاقته الحركية كافية بحيث لا "يسقط" قبل أن يصل إلى وضع عمودي. إن هذين النمطين من الحركة يحددان منطقتين منفصلتين من فضاء الطور والسبب في ذلك بسيط جداً: يتطلب الدوران طاقة أكبر من الاهتزاز (الشكل ٣٠).

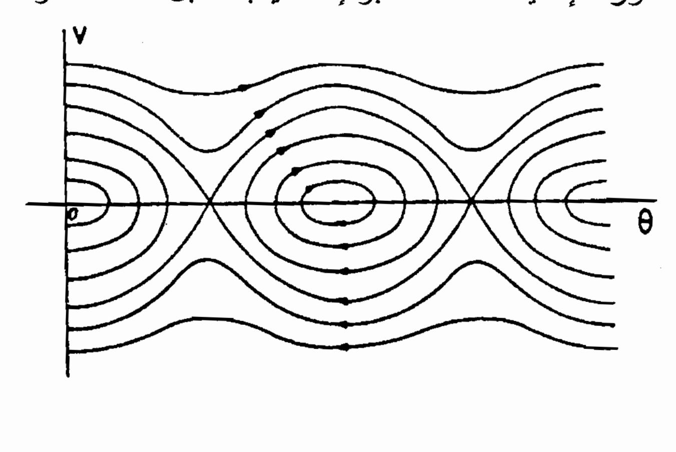
إذا كانت قياساتنا تسمح لنا بأن نبين أن المنظومة هي ابتداء في منطقة معينة، فإنه يمكننا التنبؤ بنوع الحركة التي يقوم بها النواس. يمكننا زيادة

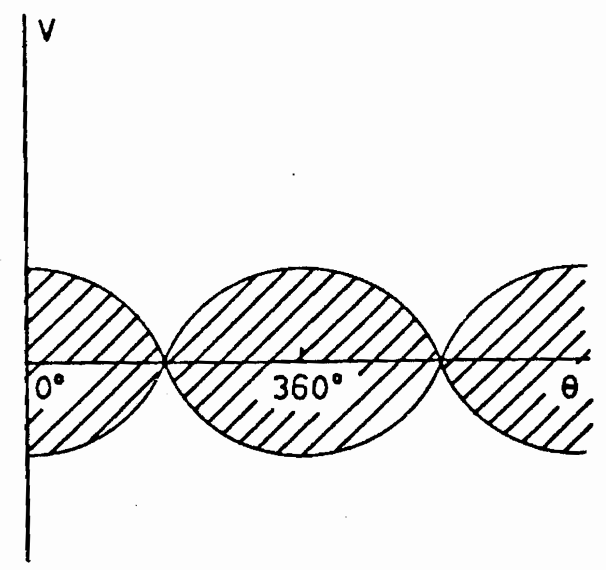
الدقة في قياساتنا وأن نحيِّد localize الحالة الابتدائية للنواس في منطقة صغيرة محاطة بالأولى. على أي حال فإننا نعلم سلوك المنظومة في كل الأوقات؛ ولا يمكن أن يحدث شيءٌ جديد أو غير متوقع.

إن واحدة من أهم النتائج المفاجئة التي أنجزت في القرن العشرين هي ***أن توصيفاً كهذا ليس صحيحاً بشكل عمومي***، وعلى العكس "معظم" منظومات الديناميك تتصرف بطريقة غير ثابتة تماماً [٦]، لنؤشر لأحد أنواع المسارات (مثلاً الاهتزاز) بـ (+) وللنوع الآخر (المقابل للدوران) بـ (*)، بدلاً من الشكل ٣٠ حيث كانت المنطقتان منفصلتين نجد عموماً مزيجاً من الحالتين بحيث يصبح الانتقال إلى نقطة وحيدة غامضاً (عد للشكل ٣١). إذا عرفنا فقط حالة منظومتنا الابتدائية في المنطقة A، فإنه لا يمكننا أن نستنتج أن مسارها هو من النوع +؛ إنه يمكن تماما أن يكون من نوع * ولن نحقق شيئاً بزيادة الدقة بالذهاب من المنطقة (A) إلى منطقة أصغر في داخلها لأن الارتياب يبقى. ***إلا أنه في كل المناطق مهما كانت صغيرة هناك دوماً حالات تنتمي لكل من ا النمطين من المسارات***[٧].

يصبح المسار لمنظومات كهذه ***غير قابل للملاحظة unobservable***، وهذا اللاثبات يعبر عن حدود المثالية النيوتونية. «ويتهدم استقلال العنصرين الأساسين للديناميك النيوتوني، القانون الثاني والشروط الابتدائية : ويدخل القانون الثاني في صراع مع تعين الشروط الابتدائية. يمكننا أن نتذكر الطريقة التي اتبعها أناكساغوراس في تصور الثروة الخلاقة لإمكانيات الطبيعة، بالنسبة له كل شيء يحوي في كل جزء من أجزائه مجموعة لانهائية من البذور المختلفة نوعياً، وهنا أيضاً فكل منطقة من فراغ الطور تحتفظ بثروة من السلوكيات المختلفة. من هذا المنظور يبدو للمسار الحتمي تطبيق محدود، حيث أننا لا نستطيع ليس فقط في الممارسة ولكن نظرياً أيضاً أن نُوصِّفَ منظومة بواسطة مسار وأننا

مجبرون على استعمال دالة توزيع مقابلة لمنطقة محدودة (مهما كانت صغيرة) من فضاء الطور. فإنه يمكننا فقط التنبؤ ***إحصائياً*** بمستقبل هذه المنظومة.



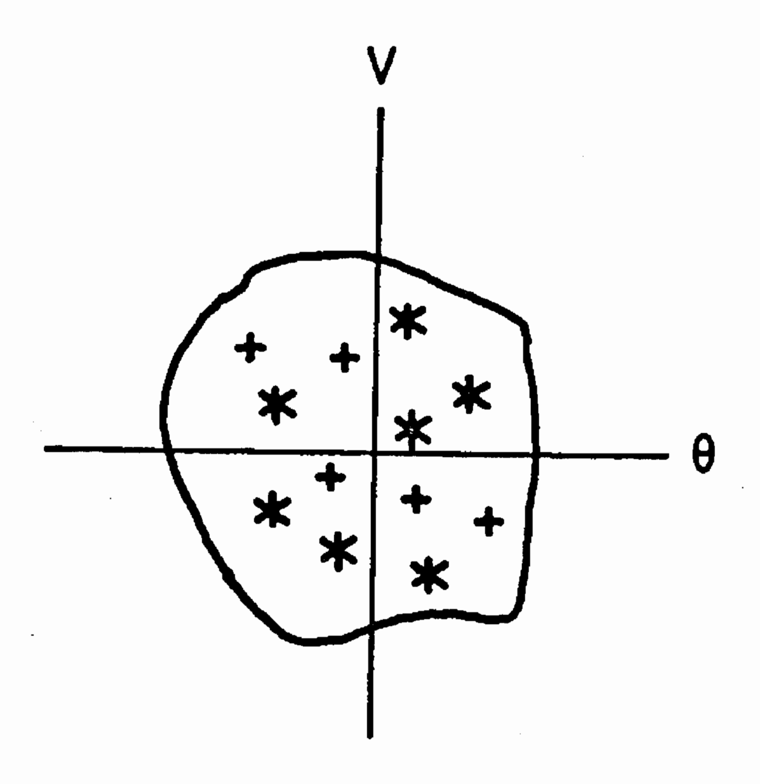


(الشكل ٣٠)

تمثيل لحركة نواس في فضاء حيث V هي السرعة و θ هي زاوية الانحراف

(a) مسارات نمطية في فراغ (θ، V)؛

(b) المناطق المظللة تقابل اهتزازات، والمناطق الخارجية تمثل دوراناً



(الشكل ٣١)

تمثيل تخطيطي لأي منطقة مهما كانت صغيرة لفراغ الطور (A) لمنظومة تُظهر لاثباتية ديناميكية. كما في حالة النواس هناك نوعان من المسارات (ممثلة هنا بـــ +، و*) إلا أنه وعلى النقيض من النواس فإن كلتا الحركتين تظهران في أية منطقة مهما كانت صغيرة.

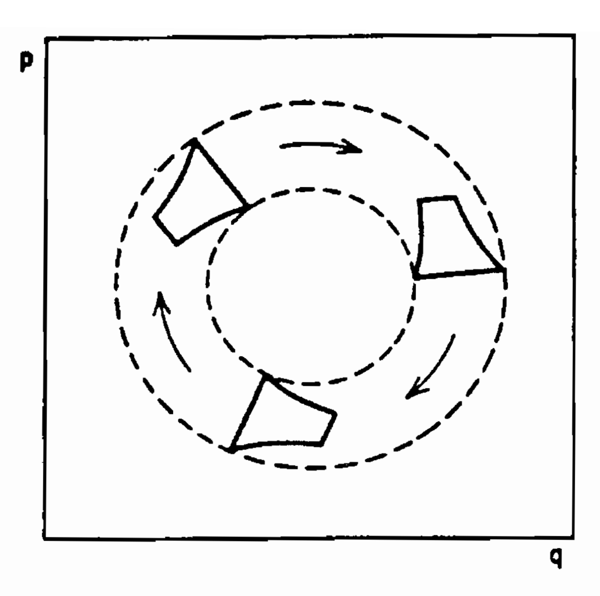
ولقد اعتاد صديقنا ليون روزنفلد Leon Rosenfeld القول أنه يمكن فهم التصورات من ***خلال حدودها*** فقط. بهذا المعنى فإنه يبدو أننا الآن لدينا فهم أفضل للميكانيك الكلاسيكي الذي عّبدت صياغته الطريق للعلم الحديث.

ولكن كيف انبثق هذا المنظور الجديد؟ علينا هنا أن نوصِّف التغيرات الدراماتيكية التي طرأت على الديناميك خلال هذا القرن. مع أنه يُظنّ أن الديناميك كان مثال فرع المعرفة النمطي الكامل والمغلق فإنه تعرض لتحويل كلي.

تجديد الديناميك

قدمنا في الجزء الأول من هذا الكتاب وصفاً للديناميك كما صيغ في القرن التاسع عشر. وهذه هي الطريقة التي لا يزال يقدم فيها في الكثير من الكتب المدرسية. والنموذج الأولي لمنظومة ديناميكية هو المنظومة التكاملية integrable system. لحل معادلات الحركة علينا فقط أن نجد الإحداثيات "المناسبة" بحيث تصبح العزوم المقابلة ثوابت للحركة invariants، ولقد أخفق هذا البرنامج. لقد ذكرنا سابقاً أنه في نهاية القرن التاسع عشر برهن برنز Bruns وبوانكاربيه أن معظم المنظومات الديناميكية بدءاً من المسألة الشهيرة "للأجسام الثلاثة" لم تكن تكاملية.

من جهة أخرى فإن فكرة الاقتراب من التوازن ذاتها بحدود نظرية المجموعات تتطلب أن نتجاوز التمثيل المثالي للمنظومات التكاملية، فكما رأينا في الفصل الثامن حسب نظرية المجموعات تكون منظومة معزولة في حالة توازن عندما تمثل "بمجموعة صغرية قياسية "microcanonical ensemble، وعندما تكون كل النقاط على سطح طاقة معينة لها نفس الاحتمالات. وهذا يعني أنه لكي تتطور منظومة إلى التوازن فإنه يجب أن تكون الطاقة هي الكمية الوحيدة التي تبقى منحفظة، يجب أن تكون "اللامتغير" invariant الوحيد. ومهما كانت الشروط الابتدائية فإن على تطور المنظومة أن يسمح لها أن تصل إلى كل النقاط على سطح الطاقة المعينة، ولكن بالنسبة للمنظومات التكاملية فإن الطاقة ليست هي اللامتغير الوحيد. في الواقع هناك لا متغيرات بعدد درجات الحريّة degrees of freedom حيث أن كل عزم معمم يبقى ثابتاً. لهذا علينا أن نتوقع أن منظومة كهذه هي "مسجونة" في "كسر" fraction صغير لسطح للطاقة الثابتة (عد للشكل ٣٢) المكون من تقاطع كل هذه السطوح اللامتغيرة.



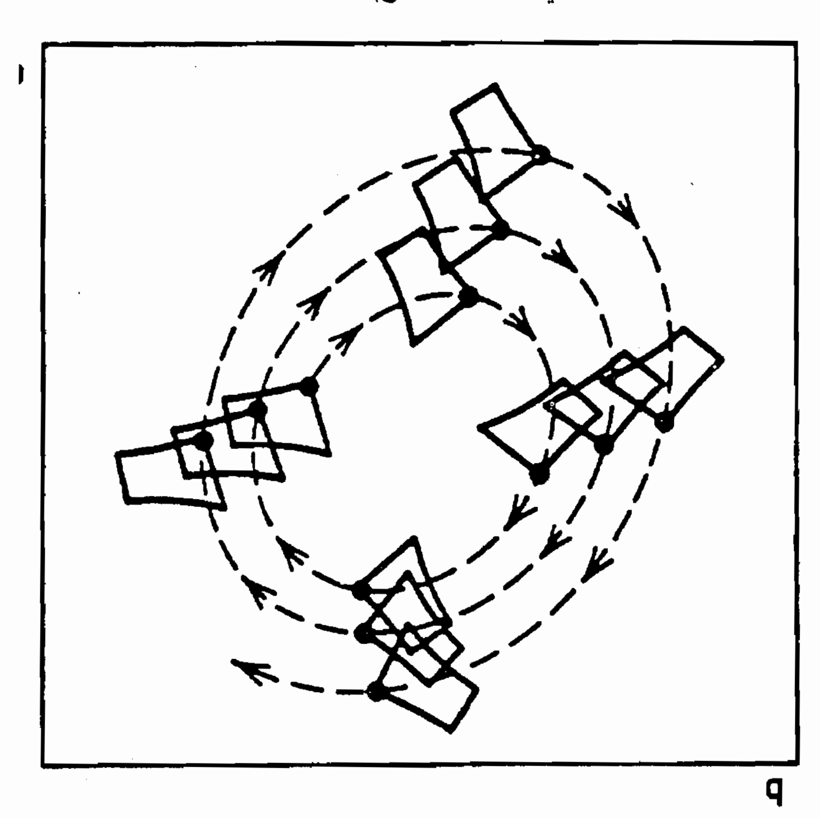
(الشكل ٣٢)

التطور الزمني في فضاء الطور (p,q). "حجم" الخلية وشكلها محفوظين مع الزمن ؛ بالإضافة إلى ذلك، فإنه لا يمكن للمنظومة أن تصل إلى معظم نقاط فضاء الطور.

لتحاشي هذه الصعوبات أدخل ماكسويل وبولتزمن نمطاً جديداً مختلفاً تماماً من المنظومات الديناميكية، حيث تبقى الطاقة في هذه المنظومات اللامتغير الوحيد، وتدعى هذه المنظومات "الإرغودية " ergodic (عد للشكل ٣٣).

ولقد قُدمت مساهمات عديدة لنظرية المنظومات الإرغودية من قبل بيركهوف Birkhoff وفون نيومن von Neumann وهوبف Hopf وكولموغوروف Kolmogoroff وسينائي Sinaiبذكر القليل منهم فقط [٨] و[٩] و[١٠]. نعلم اليوم أنه توجد أصناف classes عديدة من المنظومات الديناميكية (إلا أنها ليست هاملتونية) والتي هي إرغودية. ونعلم أيضا أنه حتى المنظومات البسيطة نسبياً يمكن أن تكون لها خواص أقوى من الإرغودية. بالنسبة لهذه المنظومات تصبح

الحركة في فضاء الطور شواشية بدرجة عالية (بينما تحتفظ دوما بحجم ينطبق مع معادلة ليوفيل المذكورة في الفصل السابع).

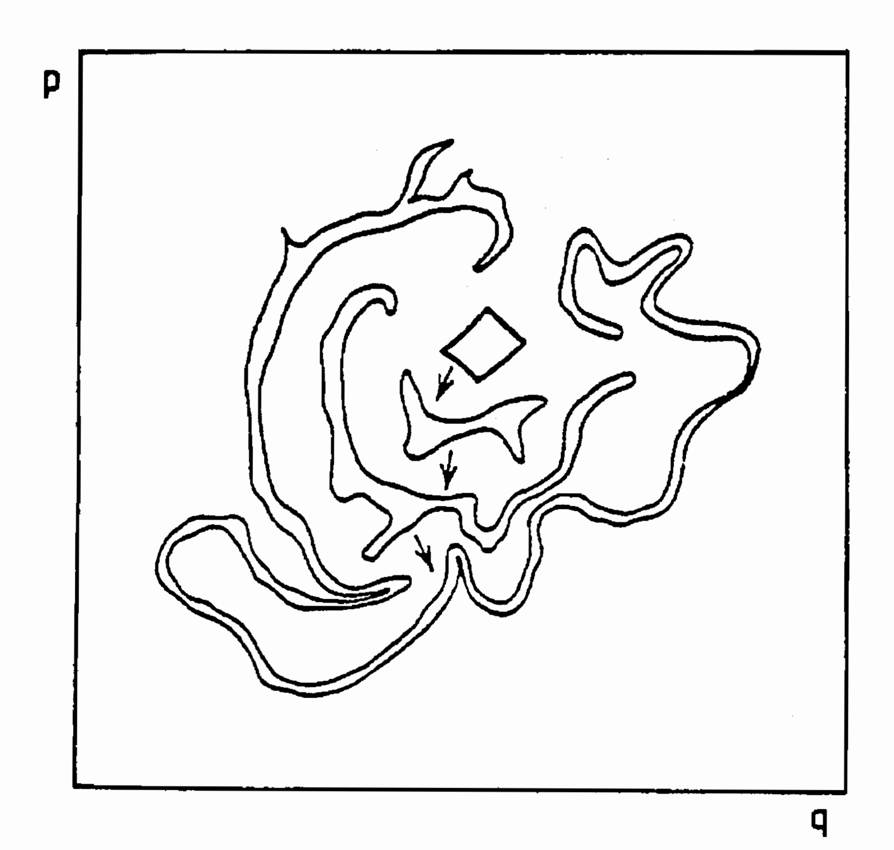


(الشكل ٣٣)

تطور نمطي في فضاء الطور لخلية تقابل منظومة إرغودية. بمرور الوقت يبقى "الحجم" والشكل منحفظين ولكن الخلية تتبع حلزوناً يمر من فضاء الطور بأكمله.

لنفترض أن معرفتنا بالشروط الابتدائية تسمح لنا بأن نحدد موضع منظومة في خلية صغيرة في فضاء الطور. سنرى هذه الخلية الابتدائية خلال تطورها تتفتل وتدور مثل وحيد الخلية وترسل "استطالات" في كل الاتجاهات منتشرة في فتائل أرفع فأرفع وأكثر انفتالاً حتى تغزو الفضاء كله أخيراً. لا يمكن لرسم تخطيطي أن

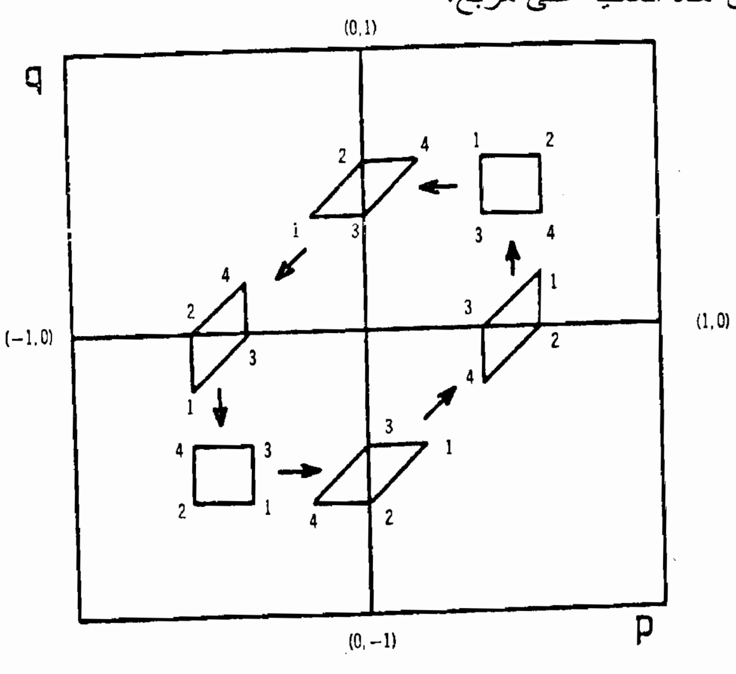
يبين تعقيد الوضع الفعلي. في الواقع فإنه خلال التطور الديناميكي لمنظومة مزج فإنه يمكن لنقطتين مهما كانتا قريبتين في فضاء الطور أن تتجها في اتجاهات مختلفة. وحتى لو كان لدينا معلومات كثيرة عن المنظومة بحيث أن الخلية الابتدائية المكونة بنقاطها الممثلة هي صغيرة جداً فإن التطور الديناميكي يحول هذه الخلية إلى "وحش" هندسي حقيقي يمد خيوط شبكته خلال فضاء الطور.



(الشكل ٣٤)

تطور نمطي في فضاء الطور لخلية مقابلة لمنظومة "مزج" mixing. الحجم لا يزال منحفظاً ولكن الشكل ليس بذلك: تنتشر الخلية في فضاء الطور كله.

إننا نرغب في شرح الفرق بين المنظومات المستقرة والغير مستقرة بأمثلة قليلة بسيطة. للنظر في فضاء طور من بعدين، وعلى فترات زمنية منتظمة سنبدل هذه الإحداثيات بأخرى جديدة. النقطة الجديدة على المحور الأفقي هي (p-q). والترتيب الجديد هو (p). يظهر الشكل ٣٥ ماذا يحدث حين نطبق هذه العملية على مربع.

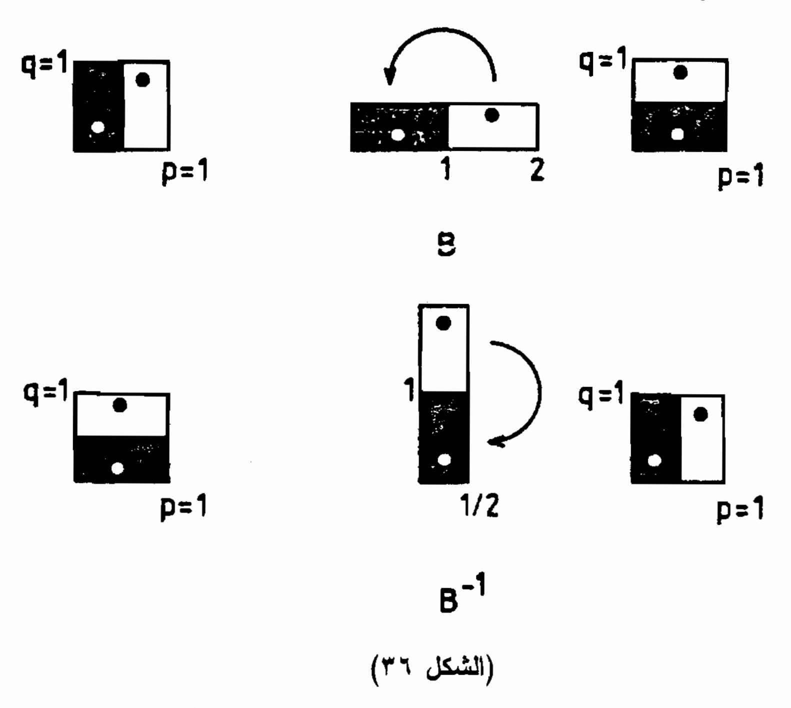


(الشكل ٣٥)

تحولات حجم في فضاء الطور متكونة بتحولات منفصلة، (p) على محور السينات تصبح (p-q) و(q) على محور العينات تصبح p والتحول هو دائري: وبعد ست عمليات نستعيد الخلية الابتدائية (بعد ست عمليات يظهر المربع الأصلي).

لنأخذ الآن مثالين لمنظومتين عاليتي عدم الاستقرار _الأولى رياضية والأخرى واضحة العلاقة الفيزيائية. المنظومة الأولى تتكون من تحويل يدعوه الرياضيون لأسباب واضحة بـــ"تحويل الخباز" (٩) و(١٠). نأخذ مربعاً

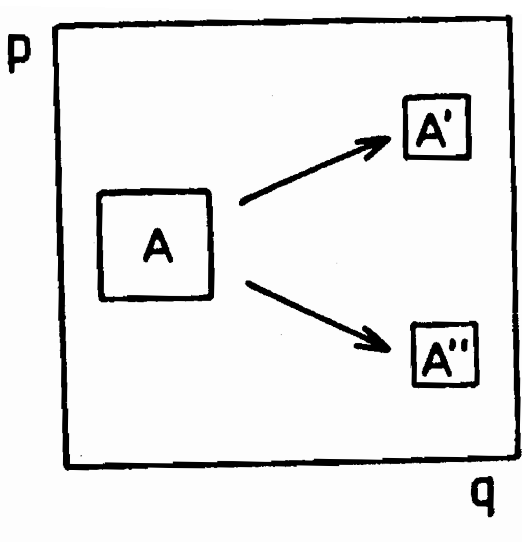
ونبسطه ليصبح مستطيلاً ثم نطوي نصف المستطيل على النصف الآخر ليكون مربعاً من جديد. تُبين هذه العمليات في الشكل ٣٦ ويمكن إعادتها قدر ما نريد من المرات.



(الشكل ٣٦)

تحقيق تحويل الخباز baker transformation وعكسه B و B^{-1} يعطي مسار البقعتين فكرة عن التحويل.

في كل مرة فإن سطح المربع يُكسَر ويعاد توزيعه، ويقابل المربع هنا فضاء الطور. وتحويل الخباز يحول كل نقطة إلى نقطة جديدة محددة. ومع أن سلسلة النقاط التي نحصل عليها بهذه الطريقة هي "حتمية" فإن المنظومة تبدي بالإضافة إلى ذلك مظاهر إحصائية لا يمكن إرجاعها. لنأخذ مثلا منظومة موصفة بشرط ابتدائي أن المنطقة A من المربع هي مليئة بشكل منتظم بنقاط تمثيل. يمكن إظهار أنه بعد عدد كاف من تكرار التحويل فإن هذه الخلية ***مهما كان حجمها وتوضعها*** سيتم تكسيرها إلى قطع (عد للشكل ٣٧). النقطة المهمة هي أن أي منطقة مهما كان حجمها بهذا تحوي دوماً مسارات مختلفة متباعدة مع كل عملية تجزئة. ومع أن تطور نقطة هو عكسي وحتمي، فإن توصِّيف منطقة مهما كانت صغيرة هو أساساً إحصائي.



(الشكل ٣٧)

التطور الزمني لمنظومة لا مستقرة. مع الزمن المنطقة A تنقسم إلى المنطقتين `A و Aالتي هي نفسها ستتقسم.

يتضمن مثال مشابه تشتت scattering كرات صلبة. يمكننا أن نعتبر كرة صغيرة ترتد بعد صدم مجموعة من الكرات الكبيرة الموزعة عشوائياً. من المفترض أن الأخيرة مثبتة fixed. ويدعو الفيزيائيون هذا النموذج "بنموذج لورنتز" على اسم الفيزيائي الهولندي الشهير هندريك أنتون لورنتز Hendrik Antoon Lorentz.

إن مسار الكرة الصغيرة المتحركة هو معرّف جيداً، إلا أنه ما إن نُدخِلْ ارتياباً بسيطاً في الشروط الابتدائية حتى يتضخم هذا الارتياب بعد العديد من الاصطدامات، ومع مرور الزمن فإن احتمال وجود الكرة الصغيرة في حجم معين يصبح منتظماً.ومهما كان عدد التحولات فإننا لن نعود إلى الحالة الأصلية أبداً.

في المثالين السابقين لدينا منظومتان قويتا *اللاإستقرار*. ويذكرنا هذا الوضع باللااستقرارت كما تظهر في المنظومات الترموديناميكية (عد للفصل الخامس). تتضخم فروق صغيرة عشوائية في الشروط الابتدائية، وكنتيجة لم يعد من الممكن أن نقوم بانتقال من مجموعات في فضاء الطور إلى مسارات مفردة. إن التوصيف بحدود مجموعات يجب أن يؤخذ كنقطة انطلاق، والتصورات الإحصائية لم تعد فقط تقريبات من "حقيقة موضوعية" ما. وبمواجهة منظومات لا مستقرة كهذه فإن جني لابلاس لا حول له ولا قوة مثلنا تماماً.

إن قول آينشتاين أن "الله لا يلعب بالنرد" هو قولٌ معروف تماماً، وبنفس الروح قال بوانكاريه أنه بالنسبة لرياضي فائق لا مجال هناك للاحتمالات. ومع ذلك فإن بوانكاريه ذاته هو الذي خطط المسار الذي قاد إلى الإجابة على هذه المسألة(١١). لقد لاحظ أنه عندما نرمي النرد ونستعمل حساب الاحتمالات فإن هذا لايعني أننا نفترض غلطاً في الديناميك، بل يعني شيئاً مختلفاً جداً؛ إننا نستعمل فكرة الاحتمالات لأنه في كل برهة في الشروط الابتدائية مهما كانت صغيرة هناك "العديد" من المسارات التي تقود إلى كل وجه من أوجه حجر النرد، وهذا بالضبط ما يحدث مع المنظومات الديناميكية اللامستقرة. يمكن للآله إذا أراد أن يحسب المسارات في عالم ديناميكي لا مستقر، وسيحصل على نفس النتيجة التي يسمح لنا حساب الاحتمالات بالحصول عليها. بالطبع إذا استعمل علمه الكامل، فإنه عندئذ سيتخلص من كل العشوائيات.

وبالنتيجة هناك علاقة وثيقة بين اللااستقرار والاحتمالات، وهذه نقطة هامة ويجب أن ندرسها الآن.

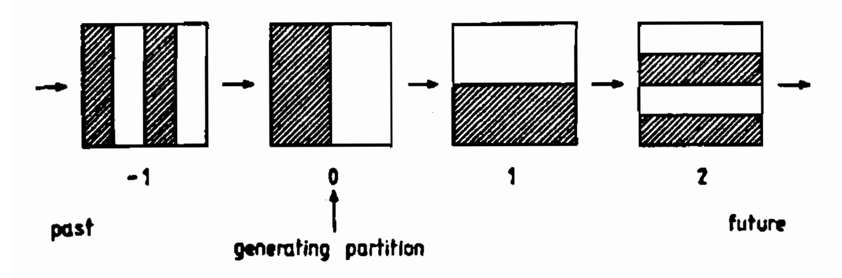
لننظر إلى تتابع من المربعات التي ينطبق عليها تحويل الخباز. هذا التتابع ممثل في (الشكل ٣٩). يمكن أن نتخيل المنطقة المظللة على أنها تحوي على حبر وغير المظللة على أنها تحوي ماءً. في الزمن صفر لدينا ما يدعى تقسيم مولّد، نكوِّن سلسلة من هذا التقسيم إما من التقسيمات الأفقية عندما نذهب إلى المستقبل أو من التقسيمات العمودية عندما نذهب إلى الماضي. وهذه هي التقسيمات الأساسية. إن أي توزيع عشوائي للحبر في المربع يمكن أن يكتب شكلياً على أنه تراكب للتقسيمات الأساسية. يمكننا لكل تقسيم أساسي أن نجعله يقابل زمنا "داخليا" هو ببساطة يحدد تحويلات الخباز التي علينا القيام بها لكي ننتقل من التقسيم المولد إلى التقسيم الذي هو تحت البحث[٢]. لهذا فإننا نرى أن هذا النمط من المنظومات يقبل نوعا من الزمن الداخلي. [•]

إن الزمن الداخلي (T) هو مختلفٌ تماماً عن الزمن الميكانيكي المعتاد، حيث أنه يعتمد على الطبولوجية الإجمالية للمنظومة. و يمكنناحتى أن نتكلم عن "تزمين للفضاء" وبهذا نقترب كثيراً من الأفكار التي قدمها حديثاً الجغرافيون الذين قدموا تصور "الكرنوغرافي"[١٣] الجغرافية الزمنية. عندما نرى بنية حديثة أو منظراً طبيعياً نرى عناصر زمنية تتفاعل وتتواجد. يمكن أن تقابل بومبي أومدينة برازيليا عمراً داخلياً معرفاً تماماً مشابهاً نوعاً ما لواحد من التقسيمات الأساسية لتوزيعات الخباز. بينما ستقابل على العكس

(•) يمكن أن يلاحظ أن هذا الزمن الداخلي ، الذي سنرمز له ب T هو في الواقع مؤثر مثل تلك المستعملة في ميكانيك الكم (أنظر الفصل السابع) . في الواقع إن تقسيما عشوائيا للمربع ليس له زمن محدد تماما ولكن زمن "وسطي" يقابل تراكب الأقسام الأساسية المشكل منها.

روما الحديثة التي نشأت أبنيتها في مراحل زمنية مختلفة وسطياً تماماً كالتقسيم العشوائي الذي يمكن تحليله إلى عناصر تقابل أزمنة داخلية مختلفة.

يمكن ملاحظة أن هذا الزمن الداخلي الذي سنرمز له بـ (T) هو في الواقع مؤثر (operator). يشبه ذلك الذي أدخلناه في ميكانيك الكم (عد للفصل السابع).في الحقيقة إن أي تقسيم عشوائي للمربع ليس له زمن محدد تماماً، ولكن زمن "وسطي" يقابل تراكب التقسيمات الأساسية المكونة له.



(الشكل ٣٩)

بدءاً من "التقسيم المولد" (أنظر النص) في الزمن (٠) نطبق بتكرار تحويل الخباز. فنولد شرائط أفقية بهذه الطريقة، وشبيه بذلك الذهاب إلى الماضي ولكن نحصل على شرائط عامودية.

لننظر مرة أخرى إلى الشكل ٣٩، ما الذي يحدث إذا تقدمنا كثيراً في المستقبل؟ ستصبح الشرائط الأفقية للحبر أقرب إلى بعضها أكثر فأكثر، وبعد زمن ومهما كانت دقة أجهزتنا فإننا سنستنتج أن الحبر منتشر بانتظام في كامل الحجم. ولهذا فليس من المستغرب أن هذا النوع من الاقتراب من "التوازن" يمكن أن يسقط على سيرورة ستوكاتية مثل سلسلة ماركوف التي وصفناها في الفصل الثامن. لقد أُظهِر هذا بكل الدقة الرياضية[١٤] حديثاً ولكن النتائج تبدو لنا طبيعية تماماً. عندما يمر الزمن فإن توزع الحبر يصل إلى

التوازن تماماً مثل توزع الكرات في الصندوق في التجربة التي بحثناها في الفصل الثامن. إلا أننا عندما ننظر إلى الماضي مرة أخرى بدءاً من التقسيم المولد في الزمن صفر نرى نفس الظاهرة. والآن فإن الحبر يتوزع على مقاطع عاموديه متقلصة ومرة أخرى إذا ذهبنا بعيداً في الماضي فإننا سنجد توزيعاً منتظماً للحبر. ويمكننا لذلك أن نستنتج أنه يمكننا أيضاً نمذجة هذه السيرورة بحدود سلسلة ماركوف إلا أننا الآن باتجاه الماضي، ونرى الآن أنه من سيرورات ديناميكية لامستقرة نحصل على سلسلتي ماركوف إحداهما تصل إلى التوازن في المستقبل والأخرى إلى الماضي.

إننا نعتقد أن هذه النتيجة هي هامة جداً ونرغب في التعقيب عليها. يقدم لنا الزمن الداخلي توصيفاً جديداً "لا محلياً".

عندما نعلم "عمر" منظومة (أي التقسيم المقابل)، فإنه لا يزال بإمكاننا أن نجعلها لا تتعلق بمسار محلي معرّف تماماً.

إننا نعرف فقط أن المنظومة هي في المنطقة المظللة (الشكل ٣٩). وبالمثل إذا كنا نعرف بعض الشروط الابتدائية الدقيقة المقابلة لنقطة في المنظومة.فإننا لا نعرف التقسيم الذي تنتمي إليه، ولا عمر المنظومة لذلك لأجل منظومات من هذا النوع فإننا نعرف توصيفين متكاملين ويصبح الوضع نوعاً ما مُذكِراً بالوضع الموصوف في الفصل السابع عندما ناقشنا ميكانيك الكم.

إنه بسبب وجود هذا الخيار الجديد: التوصيف المحلي، يمكننا الانتقال من الديناميك إلى الاحتمالات. وندعو المنظومات التي لأجلها هذا ممكن "المنظومات العشوائية جوهرياً".

يمكننا استعمال الاحتمالات الانتقالية في المنظومات الكلاسيكية الحتمية للذهاب من نقطة إلى أخرى بمعنى متنكس degenerate sense. وهذه

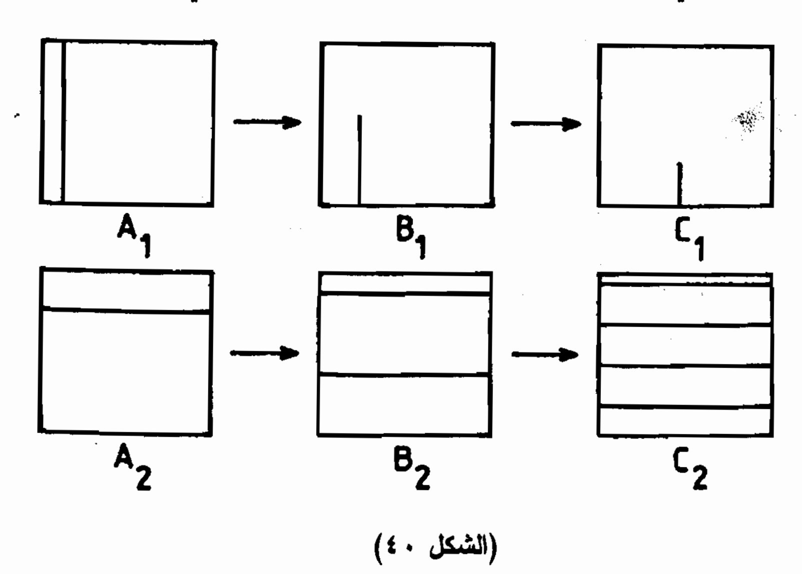
الاحتمالات الانتقالية ستكون مساوية لواحد إذا كانت النقطتان تقعان على ذات المسار الديناميكي وتساوي الصفر إذا لم تكونا كذلك.

بالمقابل في نظرية الاحتمالات الأصلية فإننا نحتاج إلى احتمالات انتقالية والتي هي أعداد موجبة تتراوح بين الصفر والواحد، فكيف يكون هذا ممكناً؟ وهنا نرى تحت ضوء ساطع الصراع بين وجهات النظر الذاتية والتأويل الموضوعي للاحتمالات. إن التأويل الذاتي يقابل الوضع حيث المسارات الفردية ليست معروفة. وتنشأ الاحتمالات (وبالتالي اللاعكوسية المرتبطة بها بشكل وثيق) من جهلنا. ولكن ولحسن الحظ هناك تأويل آخر موضوعي: تنشأ الاحتمالات كنتيجة لتوصيف بديل للديناميك، توصيف لا محلي الذي ينشأ في المنظومات الديناميكية اللالامستقرة بشكل قوي.

هنا تصبح الاحتمالات خاصة موضوعية ناشئة من عمق الديناميك إذا أجزنا هذا التعبير والذي يعبر عن البنية الأساسية للمنظومة الديناميكية. لقد أكدنا على أهمية اكتشاف بولتزمن الأساسي: الارتباط بين الانطروبية والاحتمالات. وفي المنظومات العشوائية جوهرياً يحصل تصور الاحتمالات على معنى ديناميكي، وعلينا الآن أن نقوم بالانتقال من منظومات عشوائية جوهرياً إلى منظومات لاعكوسة. لقد رأينا أنه من سيرورات لا مستقرة ديناميكيا يمكننا الحصول على سلسلتي ماركوف.

يمكننا رؤية هذه الازدواجية بطريقة مختلفة. لنأخذ توزيعاً متمركزاً على خط (بدلاً من توزعه على سطح) ويمكن لهذا الخط أن يكون شاقوليا أو أفقيا. ولننظر ماذا يحدث لهذا الخط حين نطبق عليه تحويل خباز يتجه إلى المستقبل. النتيجة ممثلة في الشكل ٤٠. سينقسم الخط الشاقولي بالتتالي إلى قطع وسينتهي إلى نقطة في المستقبل البعيد. أما الخط الأفقي فبالعكس

سيتضاعف و"سيغطي" بشكل منتظم السطح في المستقبل البعيد. من الواضح أن العكس سيحدث إذا ذهبنا إلى الماضي البعيد. ولأسباب من السهل فهمها فإن الخط الشاقولي يدعى الليف fiber المتقلص والخط الأفقي الليف المتمدد.



(الشكل ٤٠)

الألياف المتقلصة والمتمددة في تحويل الخباز؛ مع مرور الزمن يتقلص الليف المتقلص A_1 يتقلص (التتابع C_1 ، B_1 ، A_1) بينما تتضاعف الألياف المتمددة (التتابع C_2 ، B_2 ، A_2).

نرى الآن التشابه التام مع نظرية التفريع. إن الليف المتقلص والمتمدد يقابلان تطبيقين للديناميك كل منهما يتضمن كسرا للتناظر ويظهران في زوجين. يقابل الليف المتقلص توازنا في الماضي البعيد، بينما يقابل الليف المتمدد توازناً في المستقبل البعيد. لهذا لدينا سلسلتي ماركوف متجهتين في اتجاهين زمنيين متعاكسين.

والآن علينا الانتقال من منظومات عشوائية جوهرياً إلى منظومات لاعكوسة جوهرياً. للقيام بذلك علينا فهم الفرق بدقة بين الألياف المتقلصة وتلك

المتمددة. ولقد رأينا أن منظومة أخرى لامستقرة كما هو تحويل الخباز يمكن أن يوصف تشتت كرات صلبة. وهنا فإن الألياف المتقلصة والمتمددة لها تأويل فيزيائي بسيط. يقابل كل ليف متقلص مجموعة كرات صلبة سرعاتها متوزعة عشوائياً في الماضي البعيد وكلها تصبح متوازية في المستقبل البعيد. أما الليف المتمدد فإنه يقابل الوضع العكسي الذي يبدأ بسرعات متوازية ويذهب إلى توزع عشوائي. لهذا فإن الفرق يشبه تماماً ذاك الذي بين الموجات المتجمعة والموجات المتباعدة كما في مثال بوبر. إن استثناء الألياف المتقلصة يقابل الحقيقة التجريبية وهي أنه مهما كانت براعة المجرب فإنه لن يستطيع أن يتحكم بالمنظومة لكي ينتج سرعات متوازية بعد عدد كبير من الاصطدامات. ومتى استثنينا الألياف المتقلصة فإنه سيبقى لدينا واحدة فقط من سلسلتي ماركوف الممكنتين اللتين قدمناهما سابقاً. وبكلمات أخرى فإن القانون الثاني يصبح مبدأ اصطفاء للشروط الابتدائية. لا يبقى لدينا إلا الشروط الابتدائية التي تؤدي إلى التوازن في المستقبل.

من الواضح أن صلاحية مبدأ الاصطفاء محفوظة بالديناميك. يمكن بسهولة الرؤية من مثال تحويل الخباز أن الليف المتقلص يبقى كذلك كل الوقت وكذلك بالنسبة لليف المتمدد. بإلغاء واحدة من سلسلتي ماركوف فإننا ننتقل من منظومة عشوائية جوهرياً إلى منظومة لاعكوسة جوهرياً. في توصيف اللاعكوسية نجد ثلاثة عناصر أساسية:

اللااستقرار

↑

عشوائية جوهرية

↑

لاعكوسية جوهرية

إن اللاعكوسية الجوهرية هي الخاصية الأقوى: إذ إنها تتضمن العشوائية واللااستقرار[١٤] و[١٥]. كيف تتوافق هذه النتيجة مع الديناميك؟ فكما رأينا تنحفظ"المعلومات" في الديناميك، بينما نفقد المعلومات في سلسلة ماركوف (وبهذا تزداد الانطروبية؛ ارجع للفصل الثامن). إلا أنه ليس هناك من تناقض؛ عندما ننتقل من التوصيف الديناميكي لتحويل الخباز إلى التوصيف الترموديناميكي فإن علينا أن نعدل دالتنا للتوزيع. "الأشياء" التي بحدودها تزداد الأنطروبية هي مختلفة عن تلك يتعامل معها الديناميك. إن دالة التوزيع الجديدة $\hat{\rho}$ تقابل توصيفاً موجهاً زمنياً جوهرياً للمنظومة الديناميكية. في هذا الكتاب لا نستطيع أن نتوقف عند المظاهر الرياضية لهذا التحويل. لنؤكد فقط أن عليه أن لا يكون قياسياً noncanonical (انظر الفصل الثاني). لكي نصل إلى التوصيف الترموديناميكي يجب التخلي عن الصياغة المعتادة للديناميك.

إن من المدهش تماماً وجود هذا التحويل وإنه بنتيجة ذلك يمكننا توحيد الديناميك والترموديناميك، أي فيزياء الكينونة وفيزياء الصيرورة. سنعود إلى هذه المواضيع الترموديناميكية الجديدة لاحقاً في هذا الفصل كما في الفصل الختامي. لنؤكد فقط على أنه عند التوازن، عندما تصل الأنطروبية إلى قيمتها العظمى فإن هذه "الأشياء" ستتصرف عشوائياً.

من المدهش أيضاً أن اللاعكوسية تنبثق من اللاستقرار الذي يُدخِل في توصيفنا ملامح إحصائية لا يمكن "إرجاعها". ما الذي يمكن أن يعنيه سهم الزمن حقيقةً، في عالمٍ حتمي يتضمن فيه الحاضرُ المستقبلَ والماضي؟ إن المستقبل ليس محوياً في الحاضر، ونحن نذهب من الحاضر إلى المستقبل وهذا هو السبب في أن سهم الزمن يتعلق بالانتقال

من الحاضر إلى المستقبل. إن لهذا البناء للاعكوسية انطلاقاً من العشوائية، كما نعتقد، نتائج جمة تتجاوز العلم بشكلٍ خاص، وسنعود لهذا في الفصل الختامي. لنوضح الفرق بين الحالات التي يسمح بها القانون الثاني للترموديناميك عن تلك الحالات التي يحظرها.

حاجز الأنطروبية

يجري الزمن في اتجاه وحيد من الماضي نحو المستقبل. لا يمكننا منابلة الزمن؛ لا يمكننا السفر وراء إلى الماضي. لقد شغل السفر ضمن الزمن كُتّاباً كُثُر من مؤلف كتاب ***ألف ليلة وليلة*** وحتى ***ه.ج. ويلز H.G.Wells*** مؤلف ***آلة الزمن The Time Machine***. في زماننا فإن قصة نابوكوف Nabokov ***أنظر إلى المهرجين Look at the Harlequins*** [١٦]، تصف معاناة القاص الذي يجد نفسه غيرِ قادرٍ على أن يتحول من اتجاه فضائي إلى آخر كما لا نستطيع نحن "قتل" الزمن. يصف ندهم Needham في مؤلفه الخامس ***(العلم والحضارة في الصين) Science and Civilization in China*** أحلام بعض السيميائيين الصينيين: لم يكن هدفهم الأساسي تحقيق تحويل المعادن إلى ذهب، ولكن كان هدفهم منابلة الزمن والوصول إلى الخلود عن طريق التبطيء الجذري لسيرورات التفسخ الطبيعية[١٧]. ونحن نستطيع الآن أن نفهم بشكلٍ أفضل لماذا لا يمكننا "قتل الزمن" بحسب تعبير نابوكوف. إن حاجز أنطروبية لانهائي يفصل بين الشروط الابتدائية الممكنة عن تلك المحظورة، ولأن هذا الحاجز لانهائي فإن التقدم التقني لن يستطيع التغلب عليه: ويجب أن نتخلى عن الأمل أنه سنستطيع يوماً ما السفر خلفاً إلى ماضينا، والوضع يشبه إلى حدٍ ما الحاجز الذي تقيمه لنا سرعة الضوء. يمكن للتقدم التقني أن يقربنا أكثر ما يمكن من سرعة الضوء، ولكن بحسب الآراء الفيزيائية المعاصرة لن يمكننا أبداً تجاوز هذه السرعة.

ولفهم منشأ هذا الحاجز لنعد إلى التعبير عن الكمية H كما تظهر في نظرية سلاسل ماركوف (انظر الفصل الثامن). يمكن لكل توزيع أن نلحق به عدداً – القيمة المقابلة لــ H. يمكننا القول أن كل توزيع يقابل محتوى معلوماتٍ محددٍ تماماً، وكلما كان محتوى المعلومات أعلى كلما كان أصعب تحقيق الحالة المقابلة.ما نريد أن نبيّنه هنا أن التوزيع الابتدائي المحظور من قبل القانون الثاني سيكون له محتوى معلوماتي لانهائي، ولهذا السبب فإننا لا نستطيع تحقيقه ولا إيجاده في الطبيعة.

لنرجع أولاً إلى معنى H كما قدمت في الفصل الثامن. يجب علينا أن نقسم فضاء الطور المناسب إلى قطاعات أو صناديق، ولكل صندوق k نرفق احتمالاً $p_{eqm}(k)$ في حالة التوازن، واحتمالاً $P(k,t)$ في حالة اللاتوازن.

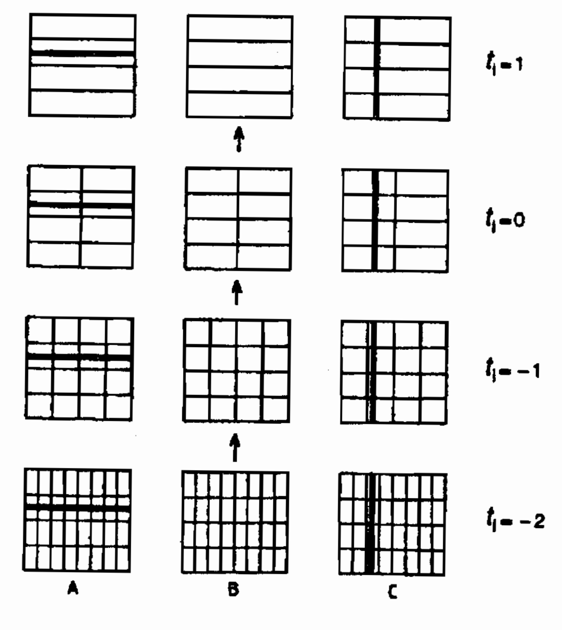
وتكون H هي مقياس الفرق بين $P(k,t)$ و $p_{eqm}(k)$، وهي تتلاشى عندما يختفي هذا الفرق. لذلك ولمقارنة تحويل الخباز مع سلاسل ماركوف علينا أن نكون أكثر دقةً في اختيار الصناديق المقابلة. لنفترض أننا ننظر إلى منظومة عند الزمن (٢) (انظر الشكل ٣٩)، ولنفترض أن هذه المنظومة نشأت عند الزمن t_i، فإن إحدى نتائج نظريتنا الديناميكية حينئذٍ هي أن جميع الصناديق تقابل كل التقاطعات الممكنة بين تقسيمات الزمن (t_i) والزمن $t = 2$. إذا نظرنا إلى الشكل ٣٩ نلاحظ أنه عندما تتراجع t_i إلى الماضي،تصبح الصناديق أصغر فأصغر حيث أنه علينا أن ندخل تقسيماتٍ شاقولية أكثر فأكثر. وهذا ما يوضحه الشكل ٤١ (التتابع ب) حيث لدينا من القمة إلى الأسفل ($t_i = 1,0,-1$) و أخيرا ($t_i = -2$)، ونرى حقاً أن عدد الصناديق يتزايد من ٤ وحتى ٣٢.

ومتى حصلنا على الصناديق يمكننا مقارنة التوزيع اللاتوازني بالتوزيع التوازني لكل صندوق، في الحالة الراهنة إن التوزيع اللاتوازني هو إما ليفة

متمددة (التتابعA) أو ليفة متقلصة (التتابع C). النقطة الهامة هي ملاحظة أنه عندما تتراجع (t_i) إلى الماضي تحتل الليف المتمددة عدداً أكبر من الصناديق: لأجل ١-= t_i تحتل الليفة المتمددة ٤ صناديق، بينما لأجل ٢-= t_i تحتل ٨ صناديق، وهكذا.

وكنتيجة فإننا عندما نطبق الصيغة المعطاة في الفصل الثامن نحصل على نتيجة منتهية حتى عندما يتناهى عدد الصناديق إلى اللانهاية ($t_i \to -\infty$).

وبالعكس فإن الليفة المتقلصة تبقى دوماً متوضعة في أربع صناديق مهما كانت t_i) (وكنتيجة فإنه عندما نطبق H على ليفة متقلصة فإنها تتناهى إلى اللانهاية عندما تتراجع t_i إلى الماضي).



(الشكل ٤١)

الألياف المتمددة (التتابع A) والمتقلصة (التتابع C) تقطع عدداً مختلفاً من الصناديق التي تقسم فضاء الطور لتحويل الخباز، كل "المربعات" التي في تتابع معين تسير إلى نفس الزمن t=٢، لكن عدد الصناديق التي تقسم كل مربع تعتمد على الابتدائي للمنظومة t_i.

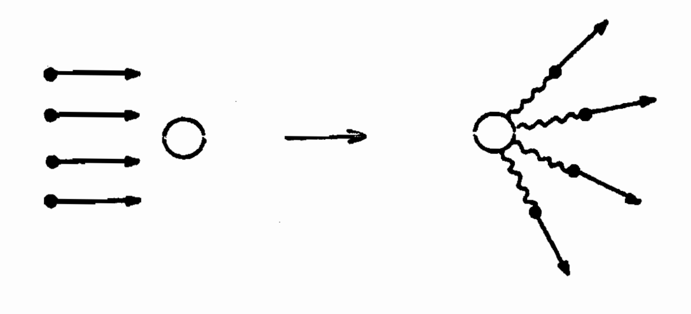
لنلخص: إن الفرق بين منظومةٍ ديناميكية وسلسة ماركوف هو أن عدد الصناديق المعتبرة في المنظومة الديناميكية لامتناه، وهذه الحقيقة هي التي تقود إلى مبدأ الاصطفاء. فقط القياسات أو الاحتمالات التي عند نهاية عدد لامتناه من الصناديق تعطي معلومات منتهية أو كمية H منتهية هي التي يمكن تحضيرها أو مراقبتها. وهذا يستثني الألياف المتقلصة (١٨). ولنفس السبب يجب أن نستثني أيضاً التوزيعات المركزة في نقطة واحدة إن الشروط الابتدائية المقابلة لنقطة وحيدة في منظومة لامستقرة ستقابل مرةً أخرى معلومات لانهائية، وهي لذلك مستحيلة التحقيق أو المراقبة، ونرى مرةً أخرى أن القانون الثاني يبدو وكأنه مبدأ اصطفاء. كانت الشروط الابتدائية في المخطط الكلاسيكي عشوائية، لكن هذا لم يعد كذلك بالنسبة للمنظومات اللامستقرة. هنا يمكننا إرفاق مع كل شرط ابتدائي محتوى معلوماتي، وهذا المحتوى ذاته يعتمد على ديناميكية المنظومة (كما في تحويل الخباز استعملنا التقسيم المتتالي للخلايا لحساب المحتوى المعلوماتي). لم تعد الشروط الابتدائية والديناميك مستقلين عن بعضهما. إن القانون الثاني كقاعدة اصطفاء يبدو لنا مهماً جداً لدرجة أننا سنعطي شرحاً آخر مبنياً على ديناميك الارتباطات corrolation.

ديناميك الارتباطات

في الفصل الثامن ناقشنا باختصار تجربة عكس السرعة. يمكننا أن ننظر في غازٍ ممدد ونتابع تطوره زمنياً، في الزمن t_0 نقوم بعكس سرعة كل جزيء، يعود الغاز عندئذٍ إلى حالته الابتدائية. لقد لاحظنا سابقاً أنه لكي

يعود الغاز إلى ماضيه يجب أن يكون هناك خزن للمعلومات. يمكن توصيف هذا الخزن بعبارات "ارتباطات" [١٩].

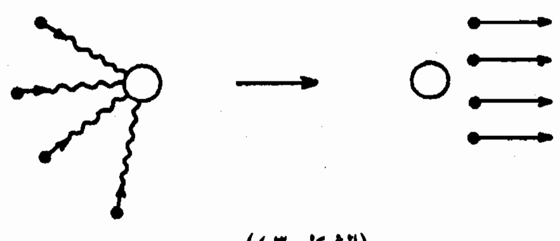
لننظر في غيمه من الجسيمات المتجهة نحو هدف (وليكن جسيماً ثقيلاً غير متحرك)، ويوصف هذا الوضع في الشكل ٤٢.



(الشكل ٤٢)

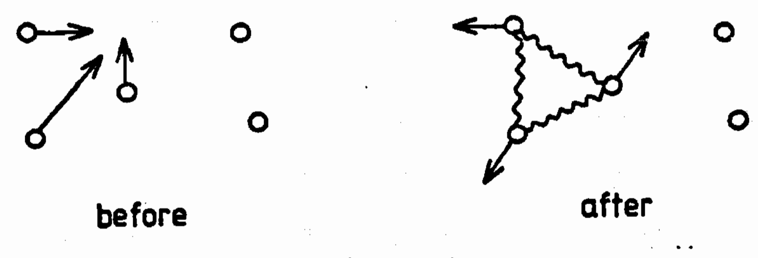
تشتت جسيمات. في البدء كل الجسيمات لها نفس السرعة، أما بعد الصدم فإن السرعات لا تعود متشابهة، والجسيمات المتشتتة تتعلق بالجسم المشتت (تمثل دوماً الارتباطات بخطوط مموجة).

في الماضي البعيد جداً لم تكن هناك أية ارتباطات بين الجسيمات، والآن للتشتت تأثيران ذُكرا سابقاً في الفصل الثامن، فهو يشتت الجسيمات (يجعل توزع السرعات أكثر تناظراً)، وبالإضافة إلى ذلك يُوجِد ارتباطات بين الجسيمات المتشتتة والجسم المشتت. يمكن جعل الارتباطات أكثر وضوحاً بالقيام بعكسٍ للسرعات (أي بإدخال مرآةٍ كروية). ويمثل الشكل ٤٣ هذا الوضع (تمثل الخطوط المتموجة العلائقيات). ولهذا فإن تأثير التشتت هو كالتالي: في السيرورة المباشرة يجعل من توزيع السرعات أكثر تناظراً ويكون ارتباطات؛ في السيرورة العكسية يصبح السرعات أقل تناظراً وتختفي الارتباطات. وهكذا نرى أن اعتبار الارتباطات يدخل تمييزاً أساسياً بين السيرورتين المباشرة والعكسية.

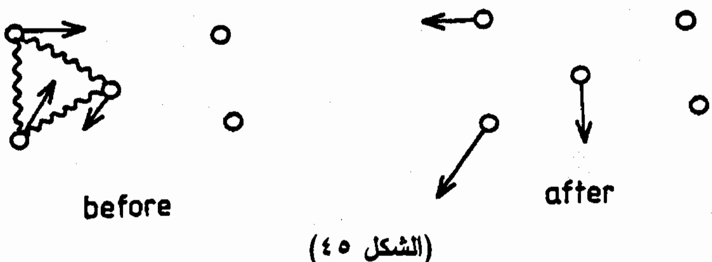


(الشكل ٤٣)
تأثير عكس السرعة بعد الصدم، بعد الصدم الجديد "المعكوس" تختفي الارتباطات ويصبح للجسيمات نفس السرعة.

يمكنا تطبيق نتائجنا على منظومات متعددة الأجسام. وهنا أيضاً يمكننا أن نرى نوعين من المواقف: في أحدها تدخل جسيمات ليس بينها أية علاقة و تتشتت وتنتج جسيمات متعالقة (انظر الشكل ٤٤). وفي الوضع المعاكس تدخل جسيمات متعالقة وتنعدم الارتباطات بعد الصدم وتنتج جسيمات ليس بينها أية علاقة (الشكل ٤٥).



(الشكل ٤٤)
تكوين ارتباطات قبل الصدم ممثلة بخطوط مموجة؛ للتفاصيل انظر النص.



(الشكل ٤٥)
تحطيم ارتباطات ما قبل الصدم (الخطوط المموجة) بواسطة الصدم.

يختلف الوصفان في الترتيب الزمني للصدم والارتباطات. في الحالة الأولى لدينا ارتباطات "ما بعد الصدم ". لنعد إلى تجربة عكس السرعة وفي ذهننا هذا التمييز ما بين ارتباطات ما قبل وما بعد الصدم. نبدأ في الزمن t=٠ بحالة ابتدائية تقابل لا إرتباطات بين الجسيمات. وخلال الزمن $0 \to t_0$ لدينا تطور "قاعدي" normal. تقرب الصدمات توزع السرعات من توزع ماكسويل التوازني. وهي أيضا تكون إرتباطات لصدم بين الجسيمات. في t_0 وبعد عكس السرعة ينشأ وضع جديد تماما.تتحول ارتباطات ما بعد الصدم إلى ارتباطات قبل الصدم. وفي الفترة الزمنية بين t_0 و $2t_0$ تختفي ارتباطات ما قبل الصدم ويصبح توزع السرعة أقل تناظرا،وفي الزمن $2t_0$نرجع ثانية إلى حالة الارتباطات. ولهذا فإن تاريخ المنظومة يمر بمرحلتين. خلال الأولى تتحول الصدمات إلى ارتباطات؛ وفي الثانية تعود الارتباطات إلى صدمات. وكلا النمطين من السيرورات متوافق مع قوانين الديناميك. بالإضافة إلى ذلك كما ذكرنا في الفصل الثامن فإن "المعلومات" الكلية التي يوصفها الديناميك تبقى ثابتة. ولقد رأينا أن توصيف بولتزمن للتطور من الزمن ٠ إلى الزمن t_0 يقابل التناقص المعتاد لـــ H بينما من t_0 إلى $2t_0$ فإنه لدينا وضع شاذ: فإن H ستتزايد والأنطروبية ستتناقص. ولهذا يمكننا تصميم تجارب إما في المختبر أو حاسوبية، بحيث يتم خرق القانون الثان! فاللاعكوسية في الفترة $(0-t_0)$ سيتم "تعويضها" "بعكس اللاعكوسية" خلال الفترة $2t_0_t_0$.

إن هذا غير مقنع مطلقا. ستتلاشى كل هذه الصعوبات إذا ذهبنا كما في تحويل الخباز إلى "التمثيل الترموديناميكي" الجديد الذي يصبح بحدوده الديناميك سيرورة احتمالية مثل سلسلة ماركوف. ويجب أن نأخذ باعتبارنا أيضا أن عكس السرعة ليس سيرورة "طبيعية "؛ إذ إنها تتطلب أن تعطى الجسيمات "معلومات "

من الخارج لكي تعكس سرعتها. إننا بحاجة إلى نوع من جني ماكسويل لكي يقوم بعملية عكس السرعات وجني ماكسويل له ثمن. لنمثل الكمية H (لسيرورة الاحتمالية) كدالة زمنية. ويظهر هذا في الشكل ٤٦. في هذا المقترب وبالعكس من مقترب بولتزمن فإن تأثير االارتباطات يتم الاحتفاظ به في التعريف الجديد لــ H. لهذا فإن عكس السرعة في النقطة t_0 سيؤدي إلى أن الكمية H ستقفز،حيث أننا كوّنّا فجأة بشكل شاذ ارتباطات سابقة للصدم والتي سيتم الإجهاز عليها لاحقا. هذه القفزة تقابل الثمن المعلوماتي أو الأنطروبي الذي علينا دفعه.

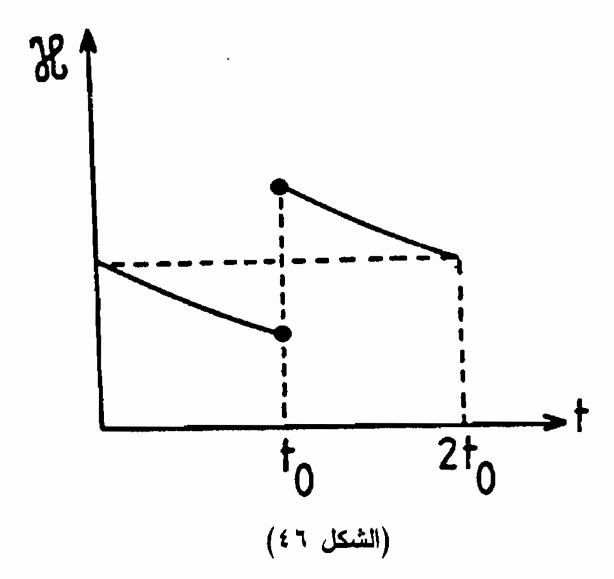
والآن لدينا تمثيل أمين للقانون الثاني: ***في كل لحظة*** تتناقص الكمية H (أو تتزايد الأنطروبية). هناك استثناء وحيد في الزمن t_0: حيث تقفز الكمية H إلى الأعلى ولكن ذلك يقابل اللحظة التي تصبح فيها المنظومة مفتوحة. لا يمكننا عكس السرعات إلا بالتأثير من الخارج.

وهناك نقطة أساسية أخرى: في الزمن t_0 للكمية الجديدة H قيمتان مختلفتان واحدة للمنظومة قبل عكس السرعة والأخرى بعد عكس السرعة. ولهذين الوضعين أنطروبيتيان مختلفتان. وهذا يشبه ما يحدث في تحويل الخباز عندما تكون الألياف المتقلصة والمتمددة هما انعكاس سرعة كل منهما للأخرى.

لنفترض أننا ننتظر وقتا كافيا قبل أن نقوم بعكس السرعة. سيكون لارتباطات ما بعد الصدم مجالا عشوائيا والثمن بالأنطروبية لعكس السرعة سيكون باهظا جدا. إن عكس السرعة حينذاك سيتطلب ثمنا باهظا من الأنطروبية ولهذا سيتثنى. هذا يعني بعبارات فيزيائية أن القانون الثاني يستثني ارتباطات ما قبل الصدم المستمرة ذات المجال الطويل.

الشبه مع التوصيف الكبري للقانون الثاني ملفت للنظر. من منظور انحفاظ الطاقة (أنظر الفصل الرابع والخامس) تلعب الحرارة والعمل نفس

الدور، ولكن ليس من منظور القانون الثاني. وباختصار فإن العمل هو شكل من الطاقة أكثر اتساقا ويمكن دوما تحويله إلى حرارة ولكن العكس ليس بصحيح. وعلى المستوى الصغري يوجد تمييز مشابه بين الصدمات والارتباطات. تلعب الصدمات والارتباطات دورا متعادلا من وجهة النظر الديناميكية. تنتج الصدمات ارتباطات والارتباطات يمكن أن تدمر تأثير الصدمات. ولكن هناك فرق أساسي. يمكننا التحكم بالصدمات وننتج ارتباطات ولكن لا يمكننا التحكم بالارتباطات بطريقة تدمر التأثيرات التي جلبتها الصدمات إلى المنظومة. إنه هذا الفرق الأساسي الذي هو مفقود في الديناميك والذي يمكن أن يدمج في الترموديناميك. لاحظ أن الترموديناميك لا يدخل في أي صراع مع الديناميك في أية نقطة. إنه يضيف عنصرا أساسيا إضافيا لفهمنا للعالم الفيزيائي.



(الشكل ٤٦)

التغير الزمني للدالة H في تجربة عكس السرعة: في الزمن t_0 تعكس السرعات وتمثل H انقطاعا. في الزمن $2t_0$ تكون المنظومة في نفس الحالة كما في الزمن ٠ وتستعيد H قيمتها الأولية. تتناقص H في كل الأوقات (ما عدا في الزمن t_0. إن الحقيقة المهمة أنه في الزمن t_0 فإن الكمية H تأخذ قيمتين مختلفتين.(انظر النص)

الأنطروبية كمبدأ اصطفاء

من المدهش كم تشبه النظرية الصغرية للسيرورات اللاعكوسة النظرية الكبرية التراثية. في كلا الحالتين للأنطروبية في البداية معنى سلبي. في مظهرها الكبري هي تحرم بعض السيرورات مثلا سريان الحرارة من البارد إلى الساخن. ويبقى محفوظا زمنيا التمييز بين ما هو مسموح وما هو محظور بقوانين الديناميك. إن المظهر الإيجابي ينبثق من المظهر السلبي: وجود الأنطروبية مع تأويلها الاحتمالي. ولا تبرز اللاعكوسية وكأنها معجزة في مستوى كبري. اللاعكوسية الكبرية تظهر فقط الطبيعة المستقطبة للزمن الموجه لكوننا الذي نعيش فيه.

لقد أكدنا مرارا أنه يوجد في الطبيعة منظومات تتصرف عكوسيا والتي يمكن أن توصف تماما بواسطة قوانين الميكانيك الكلاسيكي والكمومي. ولكن معظم المنظومات المهمة لنا،بمافيها كل المنظومات الكيميائية وبذلك كل المنظومات البيولوجية هي موجهة زمنيا على المستوى الكبري. وهذا ليس "وهما" بل إنه يعبر عن خرق تناظر زمني على المستوى الصغري. اللاعكوسية إما أن تكون على كل المستويات أو لاتكون على أي مستوى. وهي لا تظهر وكأنها معجزة بالانتقال من مستوى إلى آخر.

كما لاحظنا سابقا فإن اللاعكوسية هي نقطة البداية في خرق التناظر. فمن المقبول مثلا أن الفرق بين الجسيمات وأضدادها يمكن أن ينشأ في عالم اللاتوازن فقط. ويمكن تعميم هذا إلى مواقف أخرى عديدة. فمن المحتمل أن اللاعكوسية قد لعبت دورا في ظهور التناظر المتخالف(•) chiral symmetry من

(•) في هذا التناظر لا ينطبق الشيء على صورته في المرآة . المترجم

خلال اصطفاء التفريع المناسب. وأحد أهم مواضيع البحث الفعالة الآن هي الطريقة التي تتم فيها "تدوين" اللاعكوسية في بنية المادة.

ربما لاحظ القارئ أنه باستنتاج اللاعكوسية الصغرية كنا نركز على الديناميك الكلاسيكي إلا أن أفكار الارتباطات والتمييز ما بين ارتباطات ما قبل وما بعد الصدم تنطبق أيضا على ميكانيك الكم. إن دراسة المنظومات الكمومية هي أكثر تعقيدا من المنظومات الكلاسيكية. وهناك سبب لهذا الاختلاف بين الميكانيك الكلاسيكي وميكانيك الكم. وحتى لمنظومات كلاسيكية بسيطة كتلك المشكَّلة من عدد قليل من الكرات الصلبة،يمكن أن تبدي لا عكوسية أصيلة. إلا أنه للوصول إلى اللاعكوسية في منظومات كمومية يلزمنا منظومات كبيرة كتلك التي تتحقق في السوائل والغازات أوفي نظرية الحقل. ومن الواضح أن دراسة منظومات كبيرة هي أصعب رياضيا ولهذا فإننا لن نتابع هذا الموضوع هنا. إلا أن الوضع يبقى بشكل أساسي ذاته في ميكانيك الكم. فهنا أيضا تبدأ اللاعكوسية كنتيجة لمحدودية تصور دالة الموجة الناتجة عن شكل من اللاثبات الكمومي.

بالإضافة إلى ذلك فإنه يمكن أيضا استخدام فكرة الصدمات والارتباطات في نظرية الكم. ولهذا فإنه كما في الميكانيك الكلاسيكي يحظر القانون الثاني ارتباطات ما قبل الصدم البعيدة المدى.

إن الانتقال إلى سيرورة احتمالية يدخل كائنات جديدة وإنه بحدود هذه الكائنات الجديدة يمكن فهم القانون الثاني على أنه تطور من النظام نحو اللانظام. وهذه نتيجة هامة. ويقود القانون الثاني إلى فهم تصور جديد للمادة. ونرغب في أن نوصف هذا التصور الآن.

متى ربطنا الأنطروبية بمنظومة ديناميكية فإننا نرجع ثانية إلى تصور بولتزمن:تكون الاحتمالات في قيمتها الأعظمية عند التوازن. ولهذا ستتصرف الوحدات التي نستعملها لتوصيف التطور الترموديناميكي بطريقة شواشية في حالة التوازن. وبالعكس ستظهر الارتباطات والاتساق في الأوضاع القريبة من التوازن.

نصل الآن إلى أحد نتائجنا الرئيسية: على كل المستويات أكان مستوى الفيزياء الكبرية أو مستوى التأرجحات أو المستوى الصغري ، فإن ***اللاتوازن هو منبع النظام. واللاتوازن هو الذي يحضر " نظاما ينتج عن شواش "***. ولكن كما ذكرنا سابقا فإن تصور النظام (أو الفوضى) هو أعقد مما ظننا. وليس له من معنى يتوافق مع أعمال بولتزمن إلا في بعض الحالات الحدية مثل حالة غازات ممدة.

لنقابل التوصِّيف الديناميكي للعالم الفيزيائي بحدود القوى والحقول بالتوصيف المعاكس للترموديناميك. فكما ذكرنا يمكننا بناء تجارب حاسوبية تتفاعل فيها الجسيمات الموزعة عشوائيا ابتداء لتشكل شبيكة lattice وسيكون التأويل الديناميكي هو ظهور النظام من خلال القوى بين الجسيمات.بينما على العكس سيكون التأويل الترموديناميكي إنه الاقتراب من ***الفوضى*** (عندما تكون المنظومة معزولة) ولكنها فوضى معبر عنها بوحدات مختلفة تماما وهي في هذه الحالة نماذج جماعية تتضمن عددا كبيرا من الجسيمات. ويبدو لنا من المهم هنا إدخال تعبير جديد استعملناه في الفصل السادس لتعريف الوحدات الجديدة التي تكون بحدودها المنظومة لا متسقة عند التوازن: سندعوها "هيبنونات" hypnons التي تمشي وهي نائمة. حيث أنها تتجاهل

بعضها عند التوازن. ويمكن لكل منها أن تكون معقدة للدرجة التي نرغبها (فكر في جزيئات من تعقيد الأنزيمات) ، ولكن في حالة التوازن فإن تعقيدها يتجه "داخليا" ومرة أخرى فإنه في داخل الجزيء هناك حقل كهربائي قوي ، ولكنه في غاز ممدد يكون هذا الحقل مهملا بالنسبة للجزيئات فيما بينها.

أحد المواضيع الأساسية في الفيزياء الحالية هو مسألة الجسيمات الأولية. إلا أننا نعرف أن الجسيمات الأولية هي بعيدة عن أن تكون أولية. ففي طاقات أعلى فأعلى تظهر طبقات من البنى الجديدة. ولكن بعد كل هذا ما هو الجسيم الأولي؟ هل كوكب الأرض جسيم أولي؟ بالتأكيد لا لأن جزء ا من طاقتها هو في تفاعلها مع الشمس والقمر والكواكب الأخرى. إن تصور الجسيمات الأولية يتطلب "استقلالية " autonomy صعبة التوصيف بعبارات التصورات المعتادة. لنأخذ حالة الإلكترونات والفوتونات. نواجه هنا معضلة: إما أنه ليس هناك من جسيمات معرفة جيدا (لأن الطاقة هي مقتسمة بين الإلكترونات والبرتونات) ، أو أنه توجد جسيمات لا متفاعلة مع بعضها إذا استطعنا إلغاء التفاعل. وحتى لو عرفنا كيف نفعل هذا ،إلا أنه يبدو إجراءا جذريا. تمتص الإلكترونات فوتونات أو تطلق فوتونات. ويمكن أن يكون المخرج من هذا الوضع هو بالذهاب إلى فيزياء السيرورات. ويمكن حينئذ تعريف الوحدات ، الجسيمات الأولية على أنها هيبنونات الكائنات التي تتطور باستقلالية عند التوازن. نأمل أنه ستكون هناك تجارب لاختبار هذه الفرضية وسيكون الوضع مثيرا إذا كانت الذرات المتفاعلة مع الفوتونات (أو الجسيمات الأولي اللامستقرة) تحمل مسبقا سهم الزمن الذي يعبر عن التطور الشامل للطبيعة.

ومن المواضيع التي يكثر النقاش فيها هذه الأيام مسألة تطور الكون. كيف يمكن للكون قرب لحظة الانفجار الكبير أن يكون بهذا "الانتظام"؟ ومع

ذلك فإن هذا النظام ضروري إذا أردنا أن نفهم التطور الكوني كحركة تدريجية من النظام إلى اللانظام.

نحتاج لاعطاء جواب مقنع إلى أن نعرف ما "الهيبنونات" التي يمكن أن تكون ملائمة لشروط درجات الحرارة والكثافة العالية التي ميزت الكون الأولي. والترموديناميك وحده عاجز بالطبع أن يحل هذه المسائل؛ ولا الديناميك وحتى في حالته المتطورة جدا نظرية الحقل. وهذا ما يبين أن توحيد الديناميك والترموديناميك يفتح آفاقا جديدة.

وعلى كل حال ،فإنه من المدهش كم تغير الوضع منذ صياغة القانون الثاني للترموديناميك منذ أكثر من مائة وخمسون عاما مضت. لقد تبدى في البداية أن الرأي الذري يناقض تصور الأنطروبية. وحاول بولتزمن إنقاذ منظور العالم الميكانيكي بدفع ثمن إرجاع القانون الثاني إلى عبارة statement احتمالات ذات أهمية عملية كبيرة ولكن دون مغذى أساسي. إننا لا نعلم ما الذي سيكون عليه الحال النهائي؛ولكن الوضع الآن مختلف جزريا. ليست المادة شيئا معطى. فمن المنظور الحاضر يجب بناؤها من تصورات أكثر أساسية بحدود حقول الكم. وفي هذه البنية للمادة هناك دور للتصورات الترموديناميكية (اللاعكوسية والأنطروبية) ستلعبه.

لنلخص ما تم تحقيقه حتى الآن. لقد تم التأكيد على الدور المركزي للقانون الثاني (وللتصور المتعلق به اللاعكوسية) على المستوى الجهري للمنظومات في الكتاب الأول والثاني.

ما حاولنا بيانه في الكتاب الثالث هو أنه يمكننا الآن تجاوز المستوى الكبري واكتشاف معنى اللاعكوسية في المستوى الصغري.

إلا أن هذا يتطلب تغييرات في الطريقة التي نتصور فيها القوانين الأساسية للفيزياء. فقط عندما يفقد المنظور الكلاسيكي _كما في حالة المنظومات اللامستقرة بكفاية _ يمكننا عندئذ التكلم عن "عشوائية أصيلة" و"لاعكوسية أصيلة ".

ويمكننا لمنظومات كهذه أن نقدم توصيفا جديدا وموسعا للزمن بحدود مؤثر (operator) الزمن (T). وكما بينا في مثال تحويل الخباز (الفصل التاسع) "من العشوائية إلى اللاعكوسية " فإن لهذا المؤثر تقسيمات دالات آيجن لفضاء الطور (أنظر الشكل ٣٩).

ولهذا نصل إلى وضع يذكرنا بالوضع في ميكانيك الكم.لدينا في الواقع توصيفين ممكنين. إما أن نعطي أنفسنا نقطة في فضاء الطور وعندئذ لا نعلم إلى أي تقسيم تنتمي ولهذا فنحن لا نعلم عمرها الداخلي؛ أو نعلم عمرها الداخلي ولكن عندئذ نعلم التقسيم ولكن ليس التموضع الدقيق لتلك النقطة.

متى أدخلنا الزمن الداخلي T يمكننا اســتعمال الانطروبية كمبدأ اصطفاء للانتقال من التوصيف الابتدائي بعبارات دالة التوزيع ρ إلى أخرى جديدة $\hat{\rho}$ حيث للتوزيع $\hat{\rho}$ ســهم أصيل للزمن وموافق للقانون الثاني للترموديناميك. ويظهر الفرق الأساسي بين ρ و $\hat{\rho}$ عندما يتم نشر هاتين الدالتين بحدود دالة آيجن لمؤثر الزمن (أنظر الفصل السابع "بروز ميكانيك الكم"). كل الأعمار الداخلية في ρ أكانت من الماضي أو من المســتقبل تظهر متناظرة. وعلى العكــس ففي $\hat{\rho}$ يلعب الماضي والمســتقبل دورين مختلفين الماضي محتوى ولكن يبقى المستقبل غير

مؤكد. وهذا هو معنى ســهم الزمن. ويظهر الآن المظهر البهيج العلاقة بين الشــروط الابتدائية وقوانين التغيير. تنشأ حالة لها ســهم زمن من قانون هو أيضا له ســهم زمن والذي يحوّل هذه الحالة إلا أنه يبقي على سهم الزمن هذا.

لقد ركزنا غالبا على الوضع الكلاسيكي(٢٠). إلا أن تحليلنا ينطبق أيضا على ميكانيك الكم حيث الوضع أكثر تعقيدا، حيث أن وجود ثابت بلانك يحطم تصور المسار ويقود لذلك إلى نوع من عدم التموضع delocalization في فضاء الطور. لذلك علينا في ميكانيك الكم أن نراكب عدم التموضع الكمومي مع عدم التموضع الذي يعود للاعكوسية.

وكما أكدنا في الفصل السابع فإن ثورتين كبيرتين في الفيزياء في قرننا تقابلان للدمج في البنية الأساسية للفيزياء لمستحيلات غريبة عن الميكانيك الكلاسيكي: استحالة انتشار الإشارات بسرعة أكبر من سرعة الضوء ، واستحالة القياس معا لإحداثيات الموضع والعزوم.

ولهــذا فليــس مــن المدهش أن المبدأ الثاني، الذي يحدد قدرتنا علــى منابلة المــادة يقود أيضا إلــى تغييرات عميقة فــي بنية القوانين الأساسية للفيزياء.

لننهي هذا الجزء بكلمة تحذير. إن النظرية الظواهرية للمنظومة اللاعكوسة هي الآن مبنية جيدا. وعلى النقيض فإن النظرية الصغرية للسيرورات اللاعكوسة هي جديدة تماما. عند تصحيح النسخ الأولية لهذا الكتاب كانت هناك تجارب تحضر لاختبار هذه الآراء. وطالما أنها لم تتم فإنه لايمكن تفادي العنصر التأملي.

ختام

من الأرض إلى السماء
إعادة السحر إلى الطبيعة

يحتل الزمن الموقع المفتاحي في أية محاولة لإقامة جسر بين مجالي التجربة المتعلقين بالجانب الروحي والجانب الفيزيائي لطبيعتنا.

ا.س. أدينغتون[1]

عالم منفتح

يتضمن العلم بالتأكيد منابلة الطبيعة، ولكنه أيضاً محاولة لفهمها، وللحفر بعمق في أسئلة طالما سؤلت من جيل إلى جيل. و يجري أحد هذه الأسئلة كلحن أساسي، يكاد يكون كالهوس خلال هذا الكتاب كما هو خلال تاريخ العلم والفلسفة. وهو السؤال عن العلاقة بين الكينونة والصيرورة، بين الثبات والتغير.

لقد ذكرنا التأملات ألما قبل سقراطية: هل التغير بحيث تولد الأشياء وتموت، محكوم به من الخارج على نوع من المادة الهامدة؟ أوهو نتاج فعالية أصيلة ومستقلة للمادة؟ هل من الضروري وجود قوة دافعة خارجية أو أن الصيرورة هي في أساس المادة؟ لقد نشأ علم القرن السابع عشر كمعارض

للنموذج البيولوجي ذي التنظيم التلقائي والمستقل بذاته للكائنات الطبيعية. ولكنه جوبه باحتمال أساسي آخر. هل الطبيعة أساساً عشوائية؟ هل السلوك المنظم هو فقط نتيجة عابرة لاصطدام عشوائي للذرات ولتعلقاتها اللامستقرة؟

كان أحد المنابع الأساسية للإبهار في العلم الحديث بالضبط الشعور أن العلم قد اكتشف قوانين أبدية في قلب تحولات الطبيعة وبهذا حرَّم الزمن والصيرورة. وأنتج اكتشاف النظام هذا في الطبيعة شعورا بالأمان الثقافي كما وصفه عالم الاجتماع الفرنسي ليفي برول Levy Bruhl:

إن شعورنا بالأمان الثقافي هو مترسخ فينا بعمق لدرجة أننا لا نرى كيف يمكن أن يُهَز. وحتى إذا افترضنا أنه يمكننا ملاحظة بعض الظواهر التي قد تبدو غامضة تماما، إلا أننا نبقى مقتنعين أن جهلنا هو مؤقت فقط وأنه يجب على هذه الظواهر أن تحقق القوانين العامة للسببية وأن الأسباب التي ظهرت بنتيجتها ستتحدد قريبا أو بعيدا. *الطبيعة حولنا هي نظام وعقلانية، تماما كالعقل البشري*. تتضمن فعاليتنا اليومية ثقة تامة في عمومية قوانين الطبيعة.(٢)

لقد تم تحطيم هذا الشعور بالثقة في "عقلانية " الطبيعة، جزئياً نتيجة لنمو العلم في زماننا. كما ذكرنا في الاستهلال، يتعرض منظورنا للطبيعة لتغير جذري نحو المتعدد والزمني والمعقد. ولقد تم توصيف بعض هذه التغيرات في هذا الكتاب.

لقد كنا نبحث عن خطط عامة شاملة يمكن التعبير عنها بعبارات قوانين أبدية، ولكننا وقعنا على الزمن والحوادث والجسيمات المتطورة، وكنا نبحث عن التناظر وها نحن نفاجأ باكتشاف سيرورات خارقة للتناظر على كل المستويات من الجسيمات الأولية وحتى البيولوجية والبيئة. لقد وصفّنا في

هذا الكتاب الصدام بين الديناميك مع ما يتضمنه من تناظر زمني وبين القانون الثاني للترموديناميك وزمنه الموجه.

وتبرز وحدة جديدة: اللاعكوسية هي منبع للنظام على كل المستويات. اللاعكوسية هي الآلية التي تخرج النظام من الشواش. كيف يمكن أن يحدث هذا التحول الجذري في منظورنا للطبيعة في هذا الزمن القصير نسبيا للعقود القليلة الماضية؟ إننا نعتقد أن هذا يُظهِر الدور الهام الذي يلعبه البناء الثقافي في تصورنا للطبيعة. وهذا ما عبر عنه بور بشكل جيد عندما قال لوارنر هايزنبرغ لمناسبة زيارته لقلعة كرونبرغ Kronberg:

أليس عجيباً كيف تتغير القلعة عندما نتخيل أن هاملت عاش هنا؟ إننا نعتقد كعلماء أن القلعة مكونة من حجارة فقط ونعجب بالطريقة التي وضعها فيها المعماري. الحجارة والسقف الأخضر والخشب المحفور في الكنيسة هي كل ما يكوِّن القلعة. لا شيء من هذا سيتغير بحقيقة أن هاملت عاش هنا، ومع ذلك فإنه تغير كليا. فجأة تتكلم الجدران والحواجز لغة مختلفة ... مع أن كل ما نعرفه حقا عن هاملت هو أن اسمه يظهر في سفر تاريخي من القرن الثالث عشر... ولكن كل إنسان يعرف الأسئلة التي جعله شيكسبير يتساءلها، والأعماق الإنسانية التي جعله يكشفها، ولهذا فإنه هو أيضا يجب أن يكون له مكان هنا على الأرض هنا في كرونبرغ(٣).

وكان السؤال عن معنى الواقع هو الموضوع الرئيسي للحوار المثير ما بين طاغور وآينشتاين(٤). لقد أكد آينشتاين أنه على العلم أن يكون مستقلاً عن وجود أي مراقب. وهذا ما قاده إلى رفض حقيقة الزمن على أنه لا عكوسية وعلى أنه تطور. وعلى العكس أكد طاغور أنه حتى لو كانت هناك حقيقة مطلقة، فإنها لن تكون بمتناول العقل البشري. ومن الغريب أن تطور العلم

الحالي يجري في الاتجاه الذي ذكره الشاعر الهندي الكبير. مهما كان ما ندعوه بالواقع فإنه يُكشَفُ لنا من خلال التركيب الفعال الذي نساهم فيه. وكما عبر عن ذلك باختصار كوتاري D.S.Kothari "الحقيقة البسيطة أنه ليس هناك من قياس ولاتجربة أو ملاحظة ممكنة دون إطار عمل نظري مناسب".[٥]

الزمن والأزمنة

لأكثر من ثلاثة قرون تأكد اعتبار الزمن على أنه أساسا عامل هندسي geometric parameter يسمح بمتابعة تفتح الحالات الديناميكية المتتالية. حاول أميل مايرسون[٦] أن يُوصِّف تاريخ العلم الحديث على أنه التبني التدرجي لما اعتبره نوعية أساسية من التفكير الإنساني: يجب أن يرجع المختلف والمتغير إلى المتشابه والثابت. يجب حذف الزمن.

ويبدو آينشتاين الأقرب إلى زماننا وكأنه التجسيد لهذا الواقع لصياغة الفيزياء حيث لا إشارة إلى اللاعكوسية على المستوى الأساسي.

لقد جرى منظر تاريخي في الجمعية الفلسفية في باريس في أبريل ٦ سنة ١٩٢٢ عندما حاول هنري برغسون الدفاع عن تعددية الأزمنة المتواجدة "المعاشة " في مقابل آينشتاين. وكان جواب آينشتاين حاسما: لقد رفض رفضا باتا زمن "الفلاسفة". لا يمكن للتجربة المعاشة أن تنقذ ما رفضه العلم.

ربما كان رد فعل آينشتاين نوعا ما مبررا. بدون شك لقد أساء برغسون فهم نظرية آينشتاين النسبية.ولكن يوجد أيضا تحامل من قبل آينشتاين:تشير البرهة durée أو "الزمن المعاش" لدى برغسون إلى الأبعاد الأساسية للصيرورة واللاعكوسية التي كان يرغب آينشتاين قبولها ولكن على المستوى الظاهراتي فقط. لقد أشرنا سابقا إلى الحادثة التي جرت بين

آينشتاين وكارناب (أنظر الفصل السابع). وكان بالنسبة له تمييز الماضي والحاضر والمستقبل خارج مجال الفيزياء.

ومن الممتع متابعة المراسلات بين آينشتاين وأحد أصدقاء الصبى في زيورخ وهو ميشيل بيسو Michele Besso (٨). ومع أنه كان مهندساً وعالماً إلا أنه في نهاية حياته أصبح ميالاً أكثر إلى الفلسفة والأدب وإلى المسائل التي تحيط بلب الوجود الإنساني. وبقي يسأل الأسئلة ذاتها دون كلل: ما هي اللاعكوسية؟ ما علاقتها بقوانين الفيزياء؟ ودون كلل كان آينشتاين يجيب بالصبر الذي يظهره فقط نحو أقرب أصدقائه: اللاعكوسية وهم ينتج عن شروط ابتدائية "غير محتملة". ولقد استمر هذا الجدل لعدة سنوات حتى توفي بيسو الذي هو أكبر من آينشتاين بثماني سنوات ولقد كانت وفاته قبل عدة أشهر من وفاة آينشتاين ذاته. وفي رسالة إلى شقيقة بيسو وإلى ابنه كتب آينشتاين: "لقد غادر ميشيل هذا العالم الغريب قبلي. وهذا غير مهم. بالنسبة لنا نحن الفيزيائيين فإن التمييز بين الماضي والحاضر والمستقبل هو وهم، إلا أنه وهم مستمر". في سعي آينشتاين لإدراك قوانين الفيزياء الأساسية فإن المدرَك أصبح متماهياً مع الثابت واللامتغير.

لماذا كان آينشتاين عنيداً في رفضه لإدخال اللاعكوسية في الفيزياء؟ يمكننا التكهن فقط. لقد كان آينشتاين على الأغلب رجلا وحيداً؛ فأصدقاؤه قلائل، وله قليل من المعاونين والتلامذة. وعاش في زمن حزين: بين حربين عالميتين ثم ظهور معاداة السامية. ولهذا فليس من المستغرب أن يكون العلم بالنسبة لآينشتاين الطريق الذي يقود إلى النصر على تقلبات الزمن. أي تضاد مع عمله العلمي. لقد كان عالمه مليئا بالمراقبين من علماء متواجدين في منظومات إحداثيات مختلفة متحركة بالنسبة لبعضها ومتوضعين على نجوم

مختلفة بحقول ثقالتها. ويتبادل هؤلاء المراقبون المعلومات بواسطة إشارات تجوب العالم كله. ما كان يريده آينشتاين هو أن يحافظ فوق كل شيء على المعنى الموضوعي لهذا الاتصال. إلا أنه يمكننا أن نقول أن آينشتاين توقف عند القبول بأن الاتصال واللاعكوسية هما مرتبطان ارتباطاً وثيقاً. الاتصالات هي في قاعدة ما يمكن أن يكون أكثر السيرورات اللاعكوسية التي هي في متناول الإنسان، التراكم التدريجي للمعرفة.

حاجز الأنطروبية

لقد وصفنا في الفصل التاسع القانون الثاني على أنه مبدأ اصطفاء: كل شرط ابتدائي يقابل "معلومة". وكل الشروط الابتدائية التي تكون هذه المعلومة بالنسبة لها محددة، مسموح بها. إلا أنه للقيام بعكس اتجاه الزمن فإننا سنحتاج معلومات لانهائية؛ إنه لا يمكننا إيجاد أوضاع تتطور إلى ماضينا! وهذا هو حاجز الأنطروبية الذي أدخلناه.

هناك تشابه مهم مع تصور سرعة الضوء كحد أقصى لسرعة نقل الإشارة. فكما رأينا في الفصل السابع فإن هذه إحدى مسلمات نظرية آينشتاين النسبية. إن وجود حاجز سرعة الضوء ضروري لإعطاء معنى للسببية. لنفترض أننا نغادر الأرض في سفينة من الخيال العلمي بسرعة أكبر من سرعة الضوء. فإنه يمكننا عندئذ تجاوز الإشارة الضوئية وبهذا نسبق ماضينا رجوعا. وبالمثل فإن حاجز الأنطروبية ضروري لإعطاء معنى للاتصال. لقد ذكرنا سابقا أن اللاعكوسية والاتصال مرتبطان ارتباطا وثيقا مع بعضهما. ولقد جادل نوربرت فينر Norbert Wiener أن وجود اتجاهين للزمن سيكون له نتائج كارثية. وأنه من المفيد أن نذكر فقرة من كتابه ***السيبرناتيك Cybernetics***:

في الواقع إنها تجربة فكرية ممتعة أن نتخيل كائناً عاقلاً يجري زمنه عكس زماننا. إن تواصل كائن كهذا معنا سيكون مستحيلا. فإن أية إشارة يمكن أن يرسلها ستصلنا مع سيل من النتائج المنطقية من وجهة نظره ولكنها سوابق من وجهة نظرنا. وستكون هذه السوابق لدينا مسبقا في تجربتنا وستكون هذه السوابق قد خدمتنا على أنها الشروح الطبيعية لإشارته دون الحاجة إلى الفرض المسبق بوجود كائن واع قد أرسلها. إذا رسم لنا مربعا فإننا سنرى بواقي الشكل على أنه سوابقه وسيبدو كتبلور غريب - ودوما قابل للتفسير تماما - لهذه البواقي. وسيكون مغذاه عرضيا كوجوه نقرأها في الجبال أو الصخور. وسيظهر رسم المربع لنا ككارثة - فجائي في الواقع ولكن يمكن تفسيره بالقوانين الطبيعية - التي بها سيتوقف المربع عن الوجود. وستكون لدى الكائن المقابل لنا أفكار مشابهة عنا. *في داخل أي عالم يمكننا الاتصال به، يجب على اتجاه الزمن أن يكون منتظماً*.(٩)

إنه بالضبط حاجز الانطروبية اللانهائي الذي يضمن وحدانية اتجاه الزمن، واستحالة التحول من اتجاه معين للزمن إلى الاتجاه المعاكس.

لقد أكدنا خلال هذا الكتاب على أهمية البراهين على هذه الاستحالة. لقد كان آينشتاين في الواقع أول من أدرك هذه الأهمية عندما بنى تصوره للتزامن النسبي على استحالة إرسال معلومات بسرعة تتجاوز سرعة الضوء. إن مجمل قصة النسبية مبنية حول استثناء التزامنات "غير الملحوظة" unobservable. لقد اعتبر آينشتاين هذه الخطوة مشابهة للخطوة التي اتخذت في الترموديناميك عندما استثنيت الحركة الدائمة، ولكن البعض من معاصريه - مثل هايزنبرغ- أكدوا على اختلاف هام بين هاتين الاستحالتين. ففي حالة الترموديناميك يُعرَّف *وضع ما* على أنه غائب عن الطبيعة؛في حالة النسبية،إنها *مراقبة* ما التي تُعرَّف بأنها مستحيلة - أي

نوع من الحوار والاتصال بين الطبيعة والشخص الذي يُوصِّفها. وهكذا رأى هايزنبرغ نفسه متبعا مثال آينشتاين، بالرغم من شك آينشتاين،عندما أسس ميكانيك الكم على استثناءٍ ما يُعرِّفه مبدأ الارتياب الكمومي على أنه لا يمكن ملاحظته.

طالما أننا نعتبر القانون الثاني يعبِّر عن استحالة عملية، فإن أهميته النظرية ضئيلة جدا. ويمكن دوماً أن يكون لدينا الأمل في التغلب على ذلك بالحصول على براعة تقنية كافية. ولكننا رأينا أن الأمر ليس كذلك. ففي الجذور هناك اصطفاء لحالات ابتدائية ممكنة. ولايصبح التأويل الاحتمالي ممكناً إلا بعد أن يتم اصطفاء هذه الحالات. في الواقع لقد نص بولتزمن لأول مرة على أن زيادة الانطروبية تعبر عن زيادة الاحتمال أي الفوضى. إلا أن تأويله يستخلص من النتيجة أن الانطروبية هي مبدأ اصطفاء يخرق تناظر الزمن. ولايصبح أي تأويل احتمالي ممكنا إلا بعد خرق هذا التناظر.

بالرغم من حقيقة أننا استعدنا معظم تأويل بولتزمن للأنطروبية فإن أساس تأويلنا للقانون الثاني مختلف جذرياً حيث أنه لدينا بالتتابع

القانون الثاني كمبدأ اصطفاء

↓

تأويل احتمالي

↓

اللاعكوسية كزيادة في الفوضى

إن توحيد الديناميك والترموديناميك من خلال إدخال مبدأ اصطفاء جديد هو فقط الذي يعطي للقانون الثاني أهميته الأساسية على أنه أنموذج paradigm لتطور العلوم. وهذه النقطة هي من الأهمية بحيث سنركز عليها أكثر.

الأنموذج التطوري

إن عالم الديناميك أكان كلاسيكيا أم كموميا هو عالم عكوس. وكما أكدنا في الفصل الثامن فإنه لايمكن أن نعزو أي تطور لهذا العالم؛ ونبقي "المعلومات " المعبر عنها بحدود وحدات ديناميكية ثابتة. ولهذا فإنه من الأهمية بمكان أن نُبيِّن أنه يمكن التأسيس لوجود أنموذج تطور في الفيزياء – ليس فقط على المستوى الكبري ولكن على كل المستويات بالطبع هناك شروط: فإن حدا أدنى من التعقيد ضروري. ولكن الأهمية الكبرى للسيرورات اللاعكوسة تبين أن هذا الشرط محقق في معظم المنظومات المهمة. ومن البيِّن أن إدراك الزمن الموجه يتزايد مع تزايد مستوى التنظيم البيولوجي وربما يصل إلى قمته لدى الوعي الإنساني.

ما مدى عمومية الأنموذج التطوري؟ إنه يحوي على منظومات تتطور نحو الفوضى ومنظومات مفتوحة تتطور إلى أشكال أعلى فأعلى في التعقيد. ولهذا فليس من المستغرب أن مثال الأنطروبية قد أغرى عديدا من الكتاب الذين يتعاملون مع مسائل اجتماعية واقتصادية. ومن البِّين أننا يجب أن نكون حذرين هنا؛ فالكائنات الإنسانية ليست أشياء ديناميكية والانتقال إلى الترموديناميك لا يمكن أن يصاغ على أنه مبدأ اصطفاء يحفظ الديناميك. اللاعكوسية هي تصور أكثر أساسية على المستوى الإنساني، وهي بالنسبة لنا لا تنفصل عن معنى حياتنا ذاتها. إلا أنه من الأساسي أن لا نرى في هذا المنظور الشعور الداخلي باللاعكوسية على أنه انطباع ذاتي يُغرِّبنا عن العالم الخارجي، ولكن على أنه يشير إلى مساهمتنا في عالم يسيطر عليه أنموذج تطوري.

إن مسائل علم الكون هي مسائل معروفة بصعوبتها. ولانزال لا نعرف ما الدور الذي لعبته الثقالة في الكون الأولي. هل يمكن ضم الثقالة بشكل ما

للقانون الثاني أو هل هناك نوع من التوازن الجدلي بين الترموديناميك والثقالة؟ بالتأكيد لم يكن للاعكوسية أن تظهر فجأة في عالم عكوس الزمن. إن أصل اللاعكوسية هو مسألة كونية وتتطلب تحليلا للكون في مراحله الأولى. وهنا فإن هدفنا متواضع. ماذا تعني اللاعكوسية اليوم؟ ما علاقتها بموقعنا في العالم الذي توصفه؟

ممثلون ومشاهدون

إن رفض الفيزياء للصيرورة خلق انشقاقات داخل العلم وَغَرَّبَ العلم عن الفلسفة. وما كان بالأصل رهانا جريئا مع التراث الأرسطي المسيطر أصبح تأكيدا عقائديا ضد كل أولئك (الكيميائيين والبيولوجيين والأطباء) الذين بالنسبة لهم هناك تنوع كيفي في الطبيعة. وفي نهاية القرن التاسع عشر انتقل هذا الصراع من داخل العلم إلى علاقة "العلم" مع باقي الثقافة وخاصة الفلسفة. ولقد وصّفنا في الفصل الثالث هذا المظهر من تاريخ الفكر الغربي بجهوده الحثيثة نحو تحقيق وحدة جديدة للمعرفة. و"إن الزمن المعاش" بالنسبة للظاهراتيين **وعالم الحياة** ***Lebenswelt*** المقابلين للعالم الموضوعي للعلم، يمكن نسبتهما إلى الحاجة لإقامة متاريس أمام غزو العلم.

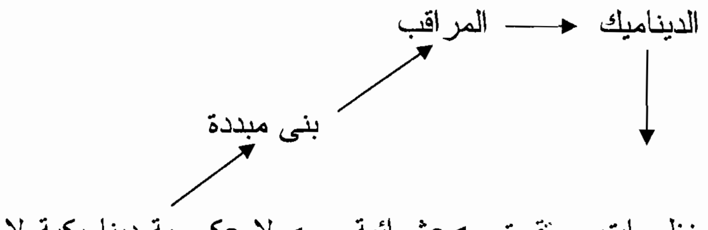
و إننا نعتقد اليوم أن عصر التأكيدات والمعارضات المطلقة قد انتهى. وليس للفيزيائيين أية أفضلية مهما كانت لأي نوع من خارج النطاق extraterritorility. إنهم كفيزيائيين ينتمون إلى ثقافتهم والتي هم بدورهم يقدمون مساهمة أساسية لها. لقد وصلنا إلى وضع شبيه تم التعرف عليه منذ زمن في علم الاجتماع. لقد أكد ميرلوبونتي Merleau Ponty على الحاجة إلى تذكر ما دعاه "الحقيقة داخل المواقف":

طالما أحتفظُ أمامي بمثال لمراقب مطلق، لمعرفة في غياب أية وجهة نظر،فإنني أرى موقفي على أنه مصدر خطأ. ولكن متى اعترفت أنه من خلاله فإنني جاهز لكل الأعمال ولكل معرفة ذات معنى بالنسبة لي، وأنه يمتلئ بالتدريج بالذي يمكن أن يكون لي، حينئذ فإن اتصالي بالمجتمع في حدود وضعي يتكشف لي على أنه نقطة الانطلاق لكل حقيقة، ومن ضمنها تلك التي للعلم، حيث أنه لدينا فكرة عن الحقيقة، حيث أننا داخل الحقيقة ولا يمكننا الخروج منها، وكل ما نستطيع عمله هو تعريف حقيقة ضمن الموقف.(١٠)

إننا في هذا الكتاب بحثنا في هذا النوع من تصور للمعرفة موضوعي ومشارك معاً.

أكد ميرلوبونتي أيضاً في كتابه ***مواضيع Themes*** (١١) أن الاكتشافات "الفلسفية" للعلم وتصوراته الأساسية في التحويل غالباً هي ناتج ***اكتشافات سلبية*** التي تقدم الفرصة ونقطة البداية لانقلاب في المنظور. لقد بينت براهين الاستحالة Demonstrations of Impossibility أكانت في النسبية أم في ميكانيك الكم أم في الترموديناميك أنه لايمكن توصيف الطبيعة "من الخارج" كما لو تم ذلك عن طريق مشاهد. التوصيف هو حوار وتواصل وهذا التواصل خاضع لضوابط تبرهن أننا مخلوقات جهرية متوضعين داخل العالم الفيزيائي.

يمكن تلخيص الموقف كما نراه اليوم على الشكل التالي:



نبدأ من مراقب يقيس الإحداثيات والعزوم ويدرس تغيراتها خلال الزمن. ويقوده هذا إلى اكتشاف منظومات ديناميكية لا مستقرة وإلى تصورات أخرى إلى عشوائية وإلى لاعكوسية أصيلتين كما بحثنا ذلك في الفصل التاسع. ومتى كان لدينا عكوسة أصيلة وأنطروبية، نأتي إلى منظومات بعيدة عن التوازن ومنها إلى بنى مبددة، ويمكننا بذلك فهم الفعالية الموجهة ذهنيا للمراقب.

لا توجد هناك فعالية علمية ليست موجهة زمنيا. إن تحضير تجربة يستدعي تمييزا لما"قبل" ولما "بعد" وإنه بسبب اللاعكوسية نتعرف على الحركة العكوسة. إن مخططنا السابق يبين أننا قد استدرنا دائرة كاملة، وأنه يمكننا الآن أن نرى أنفسنا كجزء من الكون الذي نُوصِّفه.

ليس المخطط الذي عرضناه مخطط قبلي (a priori) –قابل للاستنتاج من بنية منطقية. في الحقيقة لا يوجد ضرورة منطقية للبنى المبددة أن توجد في الطبيعة؛ "الحقيقة الكوسمولوجية " لكون بعيد عن التوازن هي ضرورية لكي يكون العالم الكبري عالما مسكونا "بمراقبين" – أي لكي يكون عالما حيا. وهكذا فإن مخططنا لا يقابل أي حقيقة منطقية أو معرفية ولكنه يشير إلى وضعنا كمخلوقات كبرية في عالم بعيد عن التوازن. بالإضافة إلى ذلك فإن هناك صفة أساسية لمخططنا وهي أنه لا يفترض أي نموذج أساسي للتوصيف؛ فكل مستوى توصيف متضمن في آخر ويتضمن الآخر. ونحن بحاجة إلى متعددة مستويات مترابطة لا يتطلب أي مستوي منها الأولوية.

لقد أكدنا سابقا على أن العكوسية ليست ظاهرة كلية. ويمكننا إجراء تجارب تقابل توازنا ترموديناميكيا في أجزاء محددة من الفضاء. بالإضافة إلى ذلك فإن أهمية المقاييس الزمنية تختلف. تتطور صخرة حسب المقياس

الزمني للتطور الجيولوجي؛ وللمجتمعات البشرية وخاصة في زماننا مقاييس زمنية أقصر بكثير. لقد ذكرنا سابقا أن اللاعكوسية تبدأ بأقل تعقيد في المنظومة الديناميكية المعنية. ومن المهم أنه بزيادة التعقيد من الصخرة إلى المجتمعات البشرية فإن دور سهم الزمن وإيقاعات التطور تتزايد. وتبين البيولوجية الجزيئية أن كل شيء في الخلية ليس حيا بنفس الطريقة. بعض السيرورات تصل إلى التوازن، وأخرى محكومة بأنزيمات معدلة بعيدة عن التوازن. وبالمثل فإن سهم الزمن يلعب أدوارا مختلفة في الكون حولنا. ومن هذا المنظور،بمعنى هذه الفعالية الموجهة زمنيا فإن الوضع الإنساني يبدو فريدا. يبدو لنا كما ذكرنا في الفصل التاسع أن اللاعكوسية وسهم الزمن يستتبعان العشوائية. "الزمن هو بناء " هذه النتيجة التي توصل إليها فاليري[١٢] مستقلاً تحمل رسالة تذهب إلى ما هو أبعد من العلم الصرف.

عاصفة في طبيعة مضطربة

يحتل العلم في مجتمعنا بطيفه الواسع من تقنيات المعرفة موقعا مميزاً، موقع جدل شاعري مع الطبيعة بالمعنى الأصلي حيث الشاعر هو "صانع" maker – فعَّال ينابل ويبحث. بالإضافة إلى ذلك فإن العلم الآن قادر على أن يحترم الطبيعة التي يبحث فيها. كنتيجة للحوار مع الطبيعة الذي بدأه العلم الكلاسيكي بمنظوره للطبيعة على أنها آلة آلية، نشأ منظور آخر مختلف تماما حيث عملية سؤال الطبيعة هي جزء أصيل من فعاليتها.

كما كتبنا في بدء هذا الفصل لقد تحطم شعورنا بالأمان الفكري. ويمكننا الآن بطريقة لا جدال فيها تقدير العلاقة بين العلم والفلسفة. لقد ذكرنا سابقا الصراع بين برغسون وآينشتاين. بالتأكيد كان برغسون "مخطئاً" في

بعض النقاط التقنية، ولكن عمله كفيلسوف كان محاولة لتوضيح مظاهر الزمن داخل الفيزياء والذي ظن أن العلم يهملها.

يمكن أن تكون مخاطرة بحث نتائج واتساق هذه التصورات الأساسية التي تبدو علمية وفلسفية معا، ولكنها يمكن أن تكون في الحوار بين العلم والفلسفة. ولنشرح هذا بالإشارة المختصرة إلى كل من لايبنتز وبيرس ووايتهد ولوكريتشيوس.

لقد أدخل لايبنتز التصور الغريب للمونادات monades وهي كيانات فيزيائية لا متواصلة والتي " ليس لها نوافذ حيث يمكن لشيء أن يدخل أو يخرج ". لقد صرفت آراءه على أنها مجنونة ولكن كما رأينا في الفصل الثاني فإن أحد أهم خصائص كل المنظومات المتكاملة أنه يوجد تحويل يمكن وصفه بحدود كيانات غير متفاعلة.. وهذه الكيانات تترجم حالتها الابتدائية خلال حركتها، ولكنها في الوقت ذاته كالمونادات تتواجد مع كل الباقي بتناغم "مؤسس سابقا ": إن حالة كل كيان (entity) في هذا التمثيل،مع أنها معينة ذاتيا تعكس حالة المنظومة بكاملها وحتى أصغر التفاصيل.

وهكذا فإن كل المنظومات المتكاملة يمكن رؤيتها على أنها منظومات "مونادية ". وبالعكس يمكن ترجمة مونادات لايبنتز إلى لغة ديناميكية: الكون هو منظومة تكاملية(١٣). وهكذا تصبح المونادية Monadology أهم صياغة لكون حذفت منه كل صيرورة. بالنظر إلى محاولات لايبنتز لفهم فعالية المادة، فإننا نقيس الفجوة التي تفصل بين القرن السابع عشر وزماننا هذا. لم تكن الأدوات بعد جاهزة؛ لقد كان من المستحيل على لايبنتز على أساس عالم آلي صرف أن يعطي تفسيرا لفعالية المادة. مع ذلك فإن بعض أفكاره مثل أن المادة فعالية وأن الكون وحدة مترابطة تبقى معنا وهي الآن تأخذ شكلا

جديدا. نأسف لأننا لا نستطيع تخصيص مكان كاف لأعمال شارل بيرس Charles S. Peirce لنذكر على الأقل هذه الفقرة الهامة:

لقد سمعتم جميعا بتبديد الطاقة. لقد وجد أن في كل تحولات الطاقة يتحول قسم منها إلى حرارة والحرارة تميل دوما إلى معادلة درجاتها. والنتيجة هي أن طاقة الكون تميل بضرورة قوانينه ذاتها إلى موت للكون حيث لن تكون فيه قوة إلا الحرارة وستكون درجة الحرارة هي ذاتها في كل مكان.

ولكن ومع أنه لا توجد قوة لمعاكسة هذا الميل،فربما يمكن وسيكون للمصادفة تأثيرها. القوة في المحصلة هي مُبددة؛ بينما المصادفة هي مُجمِّعة. إن تبدد الطاقة حسب القوانين المعتادة للطبيعة هي مصحوبة حسب القوانين ذاتها بظروف مناسبة أكثر فأكثر لإعادة تجميع الطاقة بالمصادفة. ولهذا يجب أن توجد نقطة يكون فيها الميلان متعادلين وهي بدون شك الحالة العلية للكون بأجمعه كما هو عليه اليوم.(١٤)

مرة أخرى اعتبرت ميتا فيزياء بيرس مثالا لفلسفة غريبة عن الواقع. ولكن في الواقع فإن عمل بيرس يظهر اليوم على أنه خطوة رائدة نحو فهم أفضل للتعددية في القوانين الفيزيائية.

وتأخذنا فلسفة وايتهد إلى النهاية الأخرى للطيف. بالنسبة له لا يمكن فصل الكينونة عن الصيرورة. ولقد كتب: "إن شرح معنى جملة" كل شيء يجري "هو أحد الأهداف الرئيسية للفلسفة"(١٥). وتتناوب اليوم الفيزياء والميتافيزياء في تصور للعالم حيث عملية الصيرورة هي المكون الأولي للوجود وحيث بالنقيض من مونادات لايبنتز يمكن لكينونات موجودة أن تتفاعل ولهذا يمكن لها أن تولد وتموت.

إن عالما منظما للفيزياء الكلاسيكية أو نظرية مونادية لتغيرات متوازية، تسبه السقوط الأبدي المتوازي والمنظم لذرات لوكريتشيوس خلال

الفراغ اللامتناهي. لقد ذكرنا سابقا الكلينامن ولاستقرار الجريان الصفحي. ولكن يمكننا الذهاب لما هو أبعد. فكما أشار سير Serres (١٦) فإن السقوط اللانهائي يقدم ***نموذجاً*** نؤسس عليه تصورنا للنشوء الطبيعي للاضطراب الذي يسبب ولادة الأشياء. إذا لم يتم إدخال الاضطراب على السقوط العمودي "دون سبب" من (الكلينامن) والذي يقود إلى مقابلات وتعلقات بين ذرات تسقط بانتظام فإنه لن يتم تخليق طبيعة؛ كل ما قد ينتج هو الرابطة المتكررة بين أسباب متعادلة ونتائجها محكومة بقوانين القدر ***foedera fati)***

"مرةً أخرى إذا كانت كل الحركات دوماً متصلة، الجديدة ناشئة عن القديمة بنظام معين، **إذا كانت كل الذرات لا تتأرجح لتنتج نوعا من الحركة الجديدة التي ستقطع قيود القدر، السلسلة التي لا تنتهي من السبب والنتيجة -ما هو إذن نبع الإرادة الحرة التي تملكها الكائنات الحية على الأرض؟**" (١٧)

يمكن القول أن لوكريتشيوس اخترع (الكلينامن) بنفس الطريقة الي يتم فيها "اختراع " اللقى الأثرية! يخمن الإنسان وجودها قبل أن يبدأ في الحفر. إذا لم تكن موجودة إلا المسارات العكوسة، فمن أين تأتي السيرورات اللاعكوسة التي ننتجها ونعانيها؟ إن النقطة التي تتوقف فيها المسارات على أن تكون معينة،حيث ينهار القدر الحاكم للعالم المنظم والمطرد للتغير الحتمي. وهو يؤشر أيضا لبداية علم جديد يوصِّف ولادة وتكاثر وموت كائنات طبيعية. "إن فيزياء سقوط وتكرار وتسلسل دقيق تستبدل بعلم خلاق للتغير والظروف"(١٨). ويستبدل حكم القدر foedera fati بحكم الطبيعة foedera naturae، الذي كما يؤكد سير Serres يصف معا "قوانين "طبيعة " -علاقات محلية،مفردة،وتاريخية - و"حلفا" صيغة عقد مع الطبيعة.

نجد مرة أخرى في فيزياء لوكريتشيوس الصلة التي اكتشفناها في المعرفة الحديثة بين خيارات هي في أساس توصيف فيزيائي وتصور فلسفي

وأخلاقي أو ديني يتعلق بموقع الإنسان من الطبيعة. وتقوم فيزياء علاقات كلية مضادة لعلم آخر الذي باسم القانون والسيطرة لا يعالج مشكلة الاضطراب والعشوائية. لقد كان العلم الكلاسيكي من أرخميدس وحتى كلاوزيوس معاكساً لعلم الاضطراب والتغيرات التفريعية.

وهنا تصل حكمة اليونان إلى إحدى قممها. حيث الإنسان في العالم ومن العالم، في المادة ومن المادة، إنه ليس بغريب ولكنه صديق، فرد من العائلة، ومسافر.لقد أقام عهدا مع الأشياء. وبالعكس فلقد تأسست منظومات أخرى وعلوم أخرى على تحطيم هذا العهد. وأصبح الإنسان غريباً عن العالم، وعن الشروق وعن السماء وعن الأشياء. إنه يكرهها ويحاربها. بيئته عدو يجب محاربته، وإبقاءه تحت السيطرة... وهناك حيث يندمج علم الأشياء وعلم الإنسان أنا اضطراب وزوبعة في طبيعة مضطربة(١٩).

ما وراء تحصيل الحاصل Beyond tautology

لقد كان عالم العلم الكلاسيكي عالما حيث الحوادث التي يمكن أن تحدث هي فقط تلك التي تستنتج من الحالة الآنية للمنظومة. ومن الغرابة أن هذا التصور الذي تابعنا أثره إلى غاليلو ونيوتن لم يكن جديدا في تلك الأيام. يمكن في الواقع التعرف إليه في تصور أرسطو لسماء مقدسة وساكنة. لقد كان رأي أرسطو أنه فقط في عالم السماوات يمكننا الأمل في توصيف رياضي دقيق. رددنا في المقدمة الشكوى من أن العلم قد "أزال سحر" العالم. ولكن وللمفارقة فإن هذه "الإزالة لسحر" العالم تعود إلى تعظيم العالم الأرضي،ولذا فهو يستحق نوع المتابعة الفكرية التي احتفظ بها أرسطو للسماوات. لقد رفض العلم الكلاسيكي الصيرورة والتنوع الطبيعي اللذين اعتبرهما أرسطو صفات لعالم ما تحت القمر. بهذا المعنى فإن العلم الكلاسيكي قد أنزل السماوات إلى الأرض إلا أنه على ما يبدو لم يكن هذا هدف الآباء الأولين للعلم الحديث. في تحديهم لمقولة أرسطو أن الرياضيات تبدأ حيث تنتهي

الطبيعة،فإنهم لم يحاولوا الكشف عن الثابت خلف المتحول،ولكن بالأحرى تضخيم الطبيعة المتحولة والقابلة للفساد إلى حدود الكون. في كتابه ***جدل يتعلق بالمنظومتين العالميتين الرئيسيتين*** ***Dialogue Concerning the Two World Systems*** يعجب غاليلو بفكرة ان العالم كان من الممكن أن يكون أنبل لو أن الفيضان لم يترك خلفه إلا بحرا من الجليد، أو لو أنه كان للأرض الصلابة الغير قابلة للفساد التي لحجر اليصب jasper؛ لندع أولئك الذين يظنون أن الأرض يمكن أن تكون أجمل فيما لو بعد أن تحولت إلى كرة كريستالية تحولت بفعل نظرة ميدوزا إلى تمثال من الماس !

ولكن الأشياء التي اختارها الفيزيائيون الأوائل للبحث في صحة التوصيف الكمي – أي النواس المثالي بحركته المنحفظة والآلات البسيطة والمدارات الكوكبية الخ – كانت توجد مقابِلة لتوصيفٍ رياضي ***وحيد*** الذي في الواقع أعاد إنتاج المثالية المقدسة لأجرام أرسطو السماوية.

مثل آلهة أرسطو فإن مواضيع الديناميك الكلاسيكي هي فقط مهتمة بنفسها. إنها لا يمكن أن تتعلم شيئا من الخارج. تعرف كل نقطة في أية لحظة في منظومة ما كل ما تحتاج أن تعرفه – أي توزع الكتل في الفراغ وسرعاتها. تحوي كل حالة الحقيقة الكاملة عن كل الحالات الأخرى الممكنة ويمكن استعمال كل منها لتوقع الأخريات، مهما كانت مواقعها النسبية على محور الزمن. يقود هذا التوصيف بهذا المعنى أي إحالة إلى الذات،حيث أن كلا المستقبل والماضي محتويان في الحاضر.

إن التغير الجذري في منظور العلم المعاصر، الانتقال إلى الزمني والمتنوع، يمكن أن يرى على أنه عكس للحركة التي أنزلت سماء أرسطو إلى الأرض. إننا الآن نرجع الأرض إلى السماوات. إننا نكتشف أولية الزمن والتغير من مستوى الجسيمات الأولية وحتى النماذج الكونية.

لقد تخلصت العلوم الطبيعية على المستويين الكبري والصغري من تصور حقيقة موضوعية تتضمن أن الجدة والتنوع يجب أن يرفضا باسم

قوانين كلية ثابتة. لقد تخلصت من انبهار بالعقلانية التي أُخِذت على أنها مغلقة ومعرَّفة يُرَى أنها تقريبا قد اكتملت. لقد انفتحت الآن لغير المتوقع الذي لم يعد يُعرَّف على أنه نتيجة معرفة ناقصة وعلى نقص في التحكم.

لقد تم تعريف هذا الانفتاح العلمي جيدا من قبل سيرج موسكوفيتشي Serge Moscovici على أنه "الثورة الكبلرية " لتمييزها عن "الثورة الكوبرنيكية" التي يتم فيها الاحتفاظ بفكرة وجهة نظر مطلقة. في الكثير من الفقرات المذكورة في هذا الكتاب شبه العلم "بإزالة سحر" عن هذا العالم. لنقتطف مقطعا من توصيف موسكوفيتشي للتغيرات التي تحدث الآن في العلم:

لقد أصبح العلم مساهما في هذه المغامرة،مغامرتنا، لكي يجدد أي شيء يلمسه وأن يدفيء كل شيء يشمله - الأرض التي نعيش عليها والحقائق التي تمكننا من الحياة. وفي كل منعطف لم يعد يسمع صدى جرس وفاة ولكن صوت إعادة ولادة وبدء دوماً متجدد لإنسانية ومادية، مثبتتان للحظة في ثباتهما السريع الزوال. ولهذا السبب فإن الكشوف الكبيرة لا تكشف على فراش موت كذاك لكوبرينيكوس، ولكن يقدم مثل ذلك الذي لكبلر عن طريق الأحلام والعواطف.[٢٠]

المجرى الخلاق للزمن

لقد قيل كثيرا أنه دون باخ لن يكون لدينا "حركة القديس ماتيو" St.Mattheo Passionولكن النسبية سيتم اكتشافها بدون آينشتاين. إنه من المفترض أن العلم يأخذ مجرى حتميا في مقابل اللاتوقعية المتضمنة في تاريخ الفن. وعندما ننظر خلفا إلى تاريخ العلم،على قرون ثلاثة حاولنا أن نلخصها فإننا يمكن أن نشكك في صحة هذه التأكيدات. هناك أمثلة مدهشة لحقائق تم تجاهلها بسبب أن المناخ الثقافي لم يكن جاهزا لكي يشملها في خطة متسقة. ربما يرجع اكتشاف الساعات الكيميائية إلى القرن التاسع عشر

ولكن نتائجها بدت مناقضة لفكرة تُحلِلها إلى توازن. ولقد رميت المذنبات خارج متحف فيينا لأنه لا مكان لها في المنظومة الشمسية. يلعب محيطنا الثقافي دورا فعالا في الأسئلة التي نسألها، ونتعرف فيما وراء أمور الموضة والقبول الاجتماعي على عدد من الأسئلة التي يرجع إليها كل جيل.

و بالتأكيد إن السؤال عن الزمن هو من هذه الأسئلة. وهنا ربما لا نتفق مع تحليل توماس كون لتشكل العلم "القياسي"(٢١). تتناسب الفعالية العلمية في رأي كون أفضل ما يمكن عندما ينظر إليها من إطار الجامعة المعاصرة، حيث يتم فيها البحث وتهيئة الباحثين المستقبليين معا. إذا أُخِذ تحليل كون على أنه توصِّيف للعلم عامة يقود إلى نتائج عن ما يجب أن تكون عليه المعرفة،فإنه يمكن إرجاع هذا التحليل إلى نسخة نفس –اجتماعية للتصور الوضعي لتطور العلم.، وخاصة إلى ميل في زيادة التخصص والتضييق؛ التي هي مع السلوك العلمي "القياسي" للباحث "الجدي والصامت" والذي لا يضيع وقته بالتساؤل عن المغذى العام لبحثه ولكن يركز على مسائل اختصاصه؛ وعلى الاستقلالية الأساسية للتطور العلمي عن المسائل الثقافية والاقتصادية والاجتماعية.

إن البنية الأكاديمية التي ظهر فيها "العلم القياسي " كما وصفه كون أخذت شكلها في القرن التاسع عشر. لقد أكد كون أنه يتم تعليم التلاميذ التصورات التي بني عليها البحث العلمي بإعادة على شكل تمارين لحلول للمسائل الأنموذجية للأجيال السابقة، وبهذه الطريقة يتم إعطاءهم المقياس criteria الذي يعرِّف مسألة ما على أنها هامة وعلى حل أنه مقبول. ويحدث تدريجيا الانتقال من وضع الطالب إلى وضع الباحث ؛و يتابع العالم حل المسائل باستعمال تقنيات مشابهة.

وحتى في زماننا الذي يتعلق به وصف كون بشكل كبير فإن وصف كون يشير إلى مظهر محدد وحيد للفعالية العلمية. وتختلف أهمية هذا المظهر حسب الباحث وحسب الإطار المؤسسي.

من وجهة نظر كون يبدو التحول في الأنموذج كأزمة: فبدلا من البقاء قاعدة صامتة تكاد تكون غير مرئية، وبدلا من البقاء غير مقول فإن الأنموذج في الواقع يتم استجوابه. وبدلا من العمل بتناسق معا فإن أعضاء المجموعة يبدعون في طرح أسئلة "أساسية " ويتساءلون عن شرعية طرائقهم. والمجموعة التي كانت حسب التدريب متجانسة تتنوع الآن. وغالبا ما يلعب التعبير الجديد عن وجهات نظر مختلفة وتجارب ثقافية واعتقادات فلسفية دورا محوريا في اكتشاف أنموذج جديد. ويزيد ظهور الأنموذج الجديد أكثر في حدة النقاش. وتوضع النماذج المتنافسة على المحك حتى يتم تحديد المنتصر من قبل الأكاديمي. ومع ظهور جيل جديد من العلماء يسود الصمت والإجماع ثانية، وتكتب كتب مدرسية جديدة ومرة أخرى "تسير الأمور حسب المعتاد".

في هذا المنظور فإن القوة الدافعة خلف التجديد العلمي هو السلوك الشديد المحافظة للمجتمعات العلمية،التي تطبق بإصرار ذات التقنيات على الطبيعة وذات التصورات، ودوما تنتهي بمواجهة مقاومة عنيدة أيضا من الطبيعة. وعندما يتبين أخيرا أن الطبيعة ترفض أن تعبر عن نفسها باللغة المقبولة فإن الأزمة تتفجر بنوع من العنف الذي ينتج عن انعدام الثقة. وتتركز في هذه المرحلة كل المصادر الفكرية للوصول إلى لغة جديدة. وهكذا على العلماء معالجة أزمات تفرض عليهم رغما عن إرادتهم. لقد قادتنا الأسئلة التي بحثناها إلى التأكيد على مظاهر تختلف كثيرا عن تلك التي ينطبق عليها وصف كون. لقد أكدنا على الاستمراريات، ليس الاستمرارية "الجلية " ولكن على الخبيئة، تلك التي تتضمن أسئلة صعبة مرفوضة من الكثير على أنها غير شرعية أو خاطئة ولكنها تعود لتبرز مجددا جيلا بعد جيل – أسئلة مثل ديناميك المنظومات المعقدة، علاقة العالم اللاعكوس للكيمياء والبيولوجية مع التوصيف العكوس الذي تقدمه الفيزياء الكلاسيكية. وفي الواقع إن أهمية هذه الأسئلة تكاد تكون بالكاد مفاجئة. المسألة بالنسبة لنا هي في فهم كيف أمكن إهمالها بعد أعمال ديدرو وستال وفينيل وآخرين.

لقد تعرضت السنوات المائة الماضية لعدة أزمات والتي تقابل بشكل وثيق التوصيف المقدم من كون - أزمات لم يبحث عنها أي من العلماء. مثالا على ذلك اكتشاف لا استقرار الجسيمات الأولية أو في التطور الكوني. إلا أن التاريخ الحديث للعلم هو أيضا موصف بسلسلة من المسائل التي هي نتاج أسئلة متأنية وواضحة سئلت من قبل علماء عرفوا أن لهذه الأسئلة مظاهر علمية وفلسفية معا، ولهذا فإنه مقدر على العلماء أن يتصرفوا "كهيبنون" ()!

إنه من المهم أن نشير إلى أن التقدم العلمي الذي وصفناه،وهو دمج اللاعكوسية في الفيزياء يجب أن لا ينظر إليه على أنه نوع من "الكشف" revelation الذي يفصل حامله عن العالم الثقافي الذي يعيش ضمنه. على العكس يعكس هذا التقدم بوضوح المنطق الداخلي للعلم والإطار الثقافي والاجتماعي لعصرنا معا.

وبخاصة كيف نعتبر على أنه عرضي أن إعادة اكتشاف الزمن في الفيزياء يحدث في عصر هو في قمة السرعة في تاريخ البشرية؟ إن الإطار الثقافي لا يمكن أن يكون الجواب الكامل، ولكن لا يمكن أيضا رفضه. علينا دمج العلاقات المعقدة للتحديدات "الداخلية" و"الخارجية" لإنتاج التصورات العلمية.

في استهلال هذا الكتاب أكدنا بعنوانه الفرنسي (***الحلف الجديد***) ***La Nouvelle Alliance*** على تلاقي "الثقافتين". وربما يكون هذا التلاقي أوضح ما يكون في مسألة الأسس الصغرية للاعكوسة التي درسناها في الكتاب الثالث:

وكما ذكرنا مرارا فإن الميكانيك الكلاسيكي والكمومي كلاهما مبني على شروط أولية عشوائية وعلى قوانين حتمية (للمسارات أو لدالات الموجة). بمعنى ما فإن القوانين تبين ما هو موجود مسبقا في الشروط الابتدائية. حين نأخذ اللاعكوسية بالاعتبار لا يكون هذا قائما. من هذا المنظور تنشأ الشروط الابتدائية من تطور سابق وتتحول إلى حالات من نفس الصنف خلال التطور اللاحق.

ولهذا فإننا نقترب من المسألة المركزية لعلم الوجود الغربي: العلاقة بين الكينونة والصيرورة. لقد أعطينا ملخصاً مختصراً لهذه المسائل في الفصل الثالث. وإنه من الملاحظ أن أهم عملين من بين الأعمال الأكثر تأثيراً في القرن العشرين كانا بالضبط مخصصين لهذه المسألة وهما كتاب وايتهد (***السيرورة والواقع***) ***Process and Reality*** وكتاب هايدغر ***Sein und Zeit*** ***الوجود والزمن***.كان الهدف في الحالتين تجاوز تماهي الواقع باللازمنية باتباع ***الطريق الملكي*** ***Voie Royale*** الفلسفة الغربية منذ أفلاطون وحتى أرسطو.[٢٢]

ولكن من الواضح أنه لايمكن إرجاع الوجود إلى الزمان ولا يمكننا التعامل مع الوجود الخالي من أي تضمين زمني. والاتجاه الذي تأخذه النظرية الصغرية للاعكوسية تعطي مضمونا جديدا لتأملات وايتهد وهايدغر.

إن تفصيل هذه المسألة أكثر من ذلك يتجاوز أهداف هذا الكتاب؛ وربما نقوم بذلك في عمل آخر. ولكن لنلاحظ أن الشروط الابتدائية كما هي ملخصة في حالة المنظومة هي متعلقة بالوجود؛ وبالمقابل فإن القوانين التي تتعلق بتغيرات زمنية هي متعلقة بالصيرورة.

برأينا يجب أن لا نعارض الوجود بالصيرورة ! فكلاهما يعبران عن مظهرين متلازمين من مظاهر الواقع.

إن حالة خرق التناظر الزمني تنشأ عن قانون يخرق التناظر الزمني والذي ينشرها إلى حالة تنتمي إلى نفس النوع.

في مقالة حديثة (***من الكينونة إلى الصيرورة***) ***From Being to Becoming*** أنهى أحد المؤلفيْن بهذه العبارات: "لأنه لكل مؤسسي العلم الكلاسيكي – وحتى لآينشتاين – كان العلم محاولة لتجاوز عالم الظواهر،للوصول إلى عالم لازمني كلي العقلانية – عالم سبينوزا. ولكن ربما كان هناك شكلا أكثر مراوغة للواقع يتضمن القوانين والألعاب والزمن والأبدية ".

وهـذا هـو بالضبط الاتجـاه الـذي تأخـذه نظريـة السـيرورات اللاعكوسية الصغرية.

الشرط الإنساني

إننا نتفق تماماً مع هيرمان فايل Herman Weyl:

يخطئ العلماء بتجاهلهم حقيقة أن البناء النظري ليس المقترب الوحيد لظاهرة الحياة؛ هناك طريق آخر وهو الفهم من الداخل (التأويل) مفتوح أمامنا.. إنني أملك معرفة مباشرة لذاتي لأفعالي الادراكية والفكرية والإرادية ولشعوري وعملي مختلفة تماما عن المعرفة النظرية التي تمثل السيرورات الدماغية "الموازية" برموز. إن هذا الشعور الداخلي بذاتي هو فهمي الأناس الآخرين الذين ربما أتواصل معهم أحيانا بحميمية للمشاركة معهم في الفرح والأسى.(٢٣)

وحتى حديثاً كان هناك تعارض غريب. لقد تبدى الكون الخارجي وكأنه آلة أوتوماتون تتبع قوانين سببية حتمية، في مقابل الفعالية التلقائية واللاعكوسة التي نعانيها. يتقارب العالمان الآن.هل في هـذا انتقاص للعلوم الطبيعية؟

لقد كان العلم الكلاسيكي يهدف إلى منظور "شفاف" للكون الفيزيائي. يمكنك التعرف في كل حالة على السبب والنتيجة. ولكن لا تعود الحالة كذلك متى أصبح ضروريا القيام بتوصيف ستوكاتيكي للواقع. إذ لا يمكننا التكلم عن السببية في كل تجربة مفردة ويمكننا فقط التكلم عن سببية إحصائية. وهذه كانت الحالة في الواقع منذ ظهور ميكانيك الكم، ولكنها تضخمت كثيرا بتطورات حديثة حيث تلعب العشوائية والاحتمالات دورا أساسيا، حتى في الديناميك

الكلاسيكي أو الكيمياء. ولهذا فإن الاتجاه الحديث بالمقارنة مع الاتجاه الكلاسيكي يقود إلى نوع من "التعتيم" opacity بالمقارنة مع شفافية الفكر الكلاسيكي.

هل في هذا هزيمة للعقل البشري؟ هذا سؤال صعب. إننا كعلماء لا نملك الخيار؛ فنحن لا يمكننا أن نوصِّف العالم كما نرغب أن نراه ‘ولكن فقط كما يمكننا رؤيته من خلال التأثيرات المتراكبة للنتائج التجريبية ولتصورات النظرية الجديدة. وأيضا إننا نعتقد أن هذا الوضع الجديد يعكس الوضع الذي يبدو أننا نجده في فعاليتنا الفكرية ذاتها. لقد ركز علم النفس الكلاسيكي على دراسة الفعالية الشفافة للشعور؛ بينما علم النفس الحالي يعطي ثقلا أكبر للفعالية المعتمة للاوعي. ربما كانت هذه صورة لأهم ملامح الوجود الإنساني. لنتذكر أوديب وصفاء ذهنه أمام أبي الهول واعتامه وظلاميته عندما يواجه أصوله بالذات. ربما يكون تقابل رؤانا للعالم من حولنا وللعالم في داخلنا ملمحا مقنعا للتطور الحديث للعلم الذي حاولنا توصيفه.

ولكن من الصعب تحاشي الانطباع أن التمييز بين ما هو موجود في الزمن،ما هو لا عكوس ومن جهة أخرى ما هو خارج الزمن وما هو أبدي هو في منشأ الفعالية الرمزية البشرية. وربما كان هذا خاصة في الفعالية الفنية. في الواقع إن أحد مظاهر تحولات شيء طبيعي كحجر مثلا إلى عمل فني هو مرتبط ارتباطا وثيقا بتأثيرها على المادة. تحطم الفعالية الفنية التناظر الزمني للشيء. إنها تترك بصمتها التي تترجم اللاتناظر الزمني لدينا إلى لاتناظر زمني في الشيء. فمن مستوى الضجة الدورية تقريبا والعكوسة التي نعيش فيها تنشأ موسيقى ستوكاتية وموجهة زمنياً معاً.

إعادة تجديد الطبيعة

إنه من المدهش أننا في لحظة تغيير عميق في التصور العلمي للطبيعة وفي بنية المجتمع الإنساني كنتيجة للانفجار السكاني. وكنتيجة لذلك هناك حاجة لعلاقات جديدة بين الإنسان والطبيعة وبين الإنسان والإنسان. لم يعد مقبولا الفصل القبْلي بين القيم العلمية والقيم الأخلاقية. كان هذا ممكنا عندما كان العالم الخارجي وعالمنا الداخلي يبدوان وكأنهما في صراع يكاد يكون تقريبا متعامدا. واليوم إننا نعلم أن الزمن هو بناء ولذا فهو يحمل مسؤولية أخلاقية.

إن الأفكار التي خصصنا لها مكانا واسعا في هذا الكتاب – أفكارا مثل اللااستقرار والتأرجح – تنتشر عبر العلوم الاجتماعية. وإننا نعلم الآن أن المجتمعات هي منظومات شديدة التعقيد متضمنة لعددكبير من التفريعات تتمثل في مختلف الثقافات التي تطورت في زمن قصير نسبيا في تاريخ البشرية.إننا نعلم أن هذه المنظومات هي حساسة جدا للتأرجحات. وهذا يقود إلى أمل وإلى خوف: إلى أمل حيث أن تأرجحات صغيرة يمكن أن تنمو وتغير البنية كلها. وكنتيجة لذلك فإن الفعالية الفردية ليست محكومة باللاجدوى. ومن جهة أخرى هي أيضا تهديد،حيث أنه في كوننا ذهبت القواعد الدائمة والثابتة التي تعطي الأمان إلى غير رجعة. إننا نعيش في عالم خطر ومتحول والذي لا يعطي أي أمان أعمى ولكن ربما شعور الأمل الذي عزته بعض نصوص التلمود لآله الخلق God of Genesis:

> **ستة وعشرون محاولة للخلق سبقت هذه،كلها كان مقدراً لها أن تفشل. وعالم الإنسان نشأ عن القلب المشوش للحطام السابق؛ وهو أيضاً معرض لخطر الفشل والرجوع إلى لا شيء. "لنأمل أن ينجح" صاح الله عندما خلق العالم وهذا الأمل الذي صاحب كل التاريخ اللاحق للعالم والبشرية قد أكد منذ البداية أن هذا التاريخ مطبوع بطابع الارتياب الجذري.(٢٤)**

المصطلحات

trajectories	مسارات	fluctuation	تأرجحات
transcendentalo	صهال	inertia	عطالة
turbulence	اضطراب	intuilion	حدس
amplitude	سعة	invariant	اللامتغير
avractor	جاذب	isotropic	متناحي
averoges	متوسطات	inhibition	تثبيط
automaton	إنسالي	lamirar flaws	جريان صفحي
becominy	صيرورة	methodology	منهجية
caralysts	محفذات	manipulate	ينايل
chaos	شواش	non exclusive	غير المتمانع
completenen	التمامية	moumenal	الشيء في ذاته
complexity	تعقيد	operator	مؤثر (رياضيات)
complexions	عقديات	paradigm	أنموذج
collective	جمعي	phenomenal	ظواهري
constraints	ضوابط	positieistic	وضعي
convection	حمل	particulars	خصوصيات
conversions	تحولات	parameter	معامل
correlations	ترابطات	population	سكان عشيرة
configuration	تشكيل	repetitive	كدورة
differentiation	تمايز	random	عشوائي
dimersion	بعد	ratification	مصادقة
dissipative structure	بنية مبددة	relay	رحل
duration	استدامه	reductionist	ارجاعي
equivalence	تعادل	seattering	تشتت
extrapolation	تعميمات خارجية	tautology	تحصيل حاصل لسهاب



فهرس

الصفحة

الفصل الثالث : الثقافتان

الكتاب الثاني:

الفصل الرابع: الطاقة والعصر الصناعي

الفصل الخامس: المراحل الثلاثة للترموديناميك

الفصل السادس: النظام من خلال التأرجحات

الكتاب الثالث:

الفصل السابع: إعادة اكتشاف الزمن

الفصل الثامن: صداع المذاهب

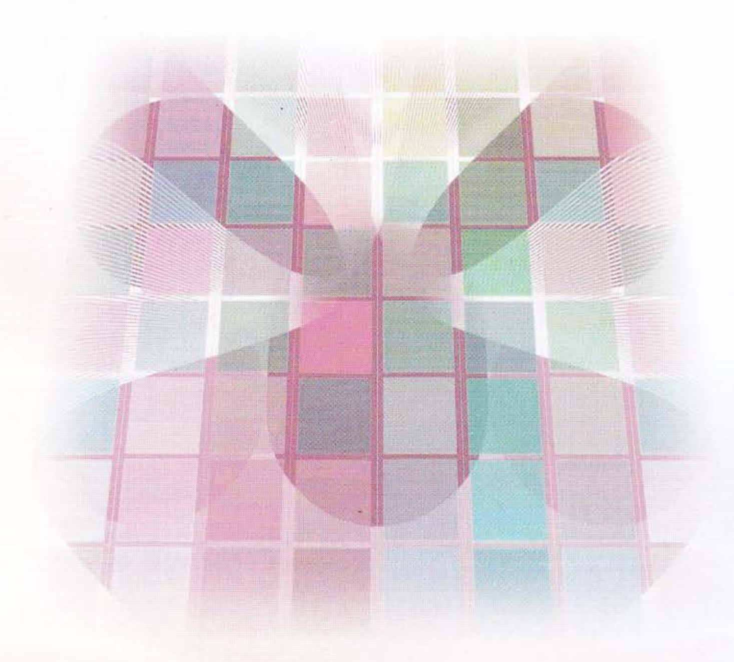
الفصل التاسع: اللاعكوسية - حاجز الانطروبية

ختـام: من الأرض إلى السماء إعادة السحر إلى الطبيعة

الطبعة الأولى /٢٠٠٨
عدد الطبع ١٠٠٠ نسخة



علي مولا





٢٠٠٨

سعر النسخة داخل القطر ٢٥٠ ل.س

في الأقطار العربية مايعادل ٥٠٠ ل.س